5e Année — N° 27 — Juin 1938

ANNALES DE PHYSIQUE DU GLOBE DE LA FRANCE D'OUTRE-MER

(Météorologie, Séismologie, Magnétisme terrestre, Océanographie, Volcanologie, Hydrologie)

Paraissant tous les deux mois

SOMMAIRE

Ciels de la France d'Outre-Mer.
Abaque pour la formule de Laplace simplifiée.
La brise de mer à Kouroussa (Guinée Française).
Vents en altitude à Fort-Lamy (Tchad).
La mer et les sables sur le littoral de l'A. E. F.
Notes et informations.
Bibliographie.

PARIS Ve
LAROSE ÉDITEUR
11, RUE VICTOR-COUSIN

Prix du Numéro : 9 francs

our faciliter l'emploi des baques contenus dans les ages 73 à 80, celles-ci ont pas été brochées.

ANNALES DE PHYSIQUE DU GLOBE DE LA FRANCE D'OUTRE-MER

LAROSE, Éditeur,

11, Rue Victor-Cousin, PARIS (Ve)

-:- Téléphone : Odéon 32-70 -:-

Chèques postaux : Paris 428.81

PRIX DE L'ABONNEMENT ANNUEL

(6 numéros)

FRANCE ET COLONIES FRANÇAISES. . .	50 francs.
ETRANGER	60 francs.

Les abonnements sont payables d'avance à la souscription.

Chaque changement d'adresse doit être accompagné de 1 franc en timbres-poste.

Prix des collections 1934, 1935 et 1936, l'une.	60 francs.
Prix du N° isolé de ces collections..	12 francs.

Tous droits de reproduction réservés

Les Annales de Physique du Globe de la France d'Outre-Mer sont publiées sous les auspices du *Conseil de Perfectionnement des Services de Physique du Globe des Colonies*, et sous la direction de M. Henry Hubert, Inspecteur Général du Service Météorologique Colonial.

Chaque numéro contient des mémoires originaux, une chronique des questions de Physique du Globe intéressant les Colonies françaises et une revue bibliographique.

Les Annales de Physique du Globe de la France d'Outre-Mer résument les recherches et observations faites par les météorologistes coloniaux et présentées dans les publications locales ; elles abordent en outre soit des études spéciales n'ayant pu trouver place dans ces publications, soit — et cela de préférence — des travaux d'ensemble concernant des groupes ou la totalité de nos territoires extérieurs. Elles se proposent de faire ressortir la variété et la nouveauté des recherches de Physique du Globe entreprises dans nos possessions lointaines et de réaliser une présentation synthétique des questions, considérées dans le cadre très vaste de notre domaine colonial.

Les numéros de l'année 1937 sont publiés à l'aide d'une subvention de la Fondation Loutreuil (Académie des Sciences) et de subventions officielles.

J. AURICOSTE

Horloger de la Marine de l'État ;
de l'Observatoire du Bureau des Longitudes
et du Service Géographique de l'Armée

10, Rue La Boëtie, PARIS

Téléph. : Anjou 25-60

Études
Projets
et
Devis
gratuits
sur demande

Installation
de
Centres Horaires
—
Distribution
d'heure

HORLOGERIE DE HAUTE PRÉCISION
:-: PENDULES ASTRONOMIQUES :-:
:-: CHRONOMÈTRES DE MARINE :-:
CHRONOGRAPHES-COMPTEURS
:-: HORLOGERIE ÉLECTRIQUE :-:
Construction — Réparations

Abaque pour la formule de Laplace simplifiée

Principe

La formule de Laplace est donnée, en général, sous la forme suivante :

$$Z_u^v = 18\,400 \left(1 + \frac{t_u + t_v}{2 \times 273}\right) A \log_{10} \frac{h_u}{h_v}$$

avec :

$$A = (1 + 0{,}00\,264 \cos 2L)\,[1 + 0{,}000.000\,098\,(Z_u^v + 2z_u)] \times \left[1 + 0{,}1885 \left(\frac{f_u}{h_u} + \frac{f^v}{h_v}\right)\right]$$

où :

Z_u^v désigne l'altitude de V par rapport à U (en mètres).

L la latitude commune aux deux stations ;
h la pression (réduite à 0° et à la gravité normale) ;
z l'altitude par rapport au niveau de la mer ;
t la température (en degrés centigrades) ;
f la tension de vapeur d'eau (exprimée avec la même unité que la pression).

Les indices u et v indiquent qu'il s'agit des valeurs des éléments en U ou V.

Cette formule complète est peu maniable, et les équations qu'elle donne ne peuvent se résoudre que par approximations successives ; c'est pourquoi on l'utilise sous une forme un peu plus simple qui donne des résultats très suffisamment approchés dans la plupart des cas.

Pour l'obtenir, on égale à l'unité le 2e facteur du produit A et l'on développe la formule en négligeant les produits 2 à 2 ou 3 à 3 des quantités petites par rapport à l'unité. La formule devient alors :

$$Z_u^v = 18\,400 \left(1 + \frac{\Theta}{273}\right) (\log_{10} h_u - \log_{10} h_v \Theta) \quad (A)$$

avec :

$$\Theta = \frac{t_u + t_v}{2} + 51{,}36 \left(\frac{f_u}{h_u} + \frac{f_v}{h_v}\right) + 0{,}72 \cos 2L \quad (B)$$

Appelons maintenant avec A. Angot « Première hauteur approchée » l'expression :

$$Y_u^v = Y_u - Y_v$$

Y_u et Y_v étant respectivement les valeurs que prend la fonction

$$Y_n = 18\,400 \log_{10} h_n \quad (1)$$

pour $h_n = h_u$ et $h_n = h_v$

La formule A peut s'écrire :

$$Z_u^v = \left(1 + \frac{\Theta}{273}\right) Y_u^v \quad (2)$$

Il existe des tables donnant les valeurs de Y_n en fonction de h_n et d'autres tables donnant les valeurs de Z_u^v en fonction de la « première hauteur approchée ». On leur adjoint le plus souvent une troisième table donnant la vraie solution de l'équation « complète » en fonction de Z_u^v et z_n, mais la correction ainsi effectuée est faible et en général illusoire.

Les deux premières tables deviennent volumineuses si l'on veut pouvoir y lire le dixième de millibar (ou de m/m.), le mètre et le degré centigrade. Si elles sont plus sommaires il faut interpoler, ce qui allonge considérablement les calculs.

L'abaque présenté hors-texte (p. 73-80) donne les solutions des équations (1) et (2) d'une façon continue, dans les limites suivantes :

Pressions de 815 à 1.040 millibars.
Altitudes de 0 à 1.550 mètres.
Températures de 0° à 50° centigrades.

Les échelles employées (1 mm par mètre et par dixième de millibar) et la disposition choisie donnent une bonne précision sous un encombrement réduit, ce qui fait de cet abaque un outil assez commode pour le calcul des altitudes ou des pressions réduites à un niveau quelconque.

Disposition

La disposition adoptée est, comme nous l'avons vu, celle qui donne l'encombrement minimum, ce qui explique pourquoi les divers tronçons de la courbe représentative de la fonction (1) ne se suivent pas constamment selon l'ordre numérique. Les valeurs correspondant aux abscisses (h_n) sont indiquées de 5 en 5 unités, celles correspondant aux ordonnées (Y_n) de 50 en 50, sur la courbe elle-même, de sorte que le changement d'origine, lorsque l'on passe d'un tronçon à un autre, ne risque pas de causer une erreur de lecture. La fin de chaque tronçon est reprise au début du suivant afin de permettre la continuité des lectures quand on opère sur une série de valeurs voisines (provenant d'une même station, par exemple).

Le faisceau de droites représentant l'équation (2) a été coupé en quatre portions : de 0 à 450 m., de 450 à 900 m. (Pl. I), de 900 à 1.350 m., et de 1.350 à 1.550 m. (Pl. II). Les droites ont été tracées :

De 5° en 5° pour la 1re portion (sauf au début où ne sont marquées que les droites 0° et 50°, puis les droites 10°, 20°, 30°, 40°).

De 2° en 2° pour la 2e portion.

De degré en degré pour la 3e et la 4e portion.

Les altitudes sont indiquées de 50 en 50 m. sur la droite correspondante à $\Theta = 0$ (droite à 45° $Z_u^v = Y_u^v$).

Bien noter que la « première hauteur approchée » Y_u^v est en *ordonnée* et que Z_u^v est en *abcisse*.

Usage et constrction

L'abaque joint à ce numéro n'ayant subi qu'une faible réduction, est directement utilisable, mais on n'a pu l'établir qu'en une seule couleur, et par conséquent, pour ne pas nuire à la clarté, il a fallu supprimer les graduations intermédiaires. Il y aurait avantage à rétablir celles-ci, en n'exprimant que les deux derniers chiffres, et en utilisant deux encres de couleur différentes pour les pressions et pour les altitudes.

Malgré cela, cette reproduction ne donnera pas la même clarté qu'un abaque construit, comme l'original, sur papier millimétré de couleur, avec, par exemple, les pressions inscrites en rouge, de *mb* en *mb* et les Y_u, ainsi que les altitudes, de 10 m. en 10 m., en noir.

Les erreurs de lecture sont ainsi facilement évitées.

Voici quelques indications complémentaires pouvant faciliter la construction :

On commencera par tracer la 1re portion du faisceau (2) (de 0 à 450 m.). En se reportant à l'équation, du faisceau on remarque que les horizontales $Y_u^v = 273\ k$ (k entier) sont coupées par les droites du faisceau en des points d'abscisses.

$$273\ k + k\Theta.$$

C'est-à-dire que les droites correspondant à des valeurs entières de Θ découpent ces horizontales d'ordonnées 273 k en des segments égaux ayant pour longueur un nombre entier de mm., avec les échelles employées.

On aura ainsi une série de points faciles à déterminer. Cependant, on gagnera de la précision à connaître la valeur numérique des ordonnées des points à la limite de chaque portion du faisceau (d'abscisse 450, 900, 1.550). On les obtiendra en résolvant l'équation (2) pour ces valeurs particulières de Z et les valeurs entières de Θ.

En fait, on n'aura à faire les calculs que pour $Z_u^v = 450$ et $Z_u^v = 1.550$, les deux autres séries de valeurs étant évidemment respectivement formées de nombres doubles et triples de ceux de la première.

Une fois mise en place la première portion du faisceau, il sera facile de disposer la seconde et les tronçons de la courbe (1) comme sur la présente reproduction.

On suivra la même marche pour la planche II.

Les tronçons de courbe (1) sont presque des droites et quelques points (cinq ou six par tronçon) pris dans les Tables suffiront pour les tracer avec une précision suffisante.

L'abaque a été construit pour être utilisé en A. O. F. où les pressions varient peu. Il est possible que, pour des régions où les pressions varient davantage, on ait intérêt à prolonger la courbe (1), mais dans la grande majorité des cas, la portion construite ici suffira et même, en général, on n'aura pas à utiliser les deux planches à la fois pour un seul calcul : en effet, sur chacune d'elles, les segments de courbe (1) correspondent aux valeurs extrêmes de 1.040 et 985 millibars pour la pression réduite au niveau de la mer, dans les cas les plus défavorables où l'altitude de la station serait égale à une des valeurs limites : 0, 900 ou 1.550 mètres.

Tempèrature réduite

Pour compléter, un petit abaque permet de faciliter le calcul exact de la température réduite Θ. Cet élément se compose en effet de quatre parties :

a) La moyenne des températures en U et V :

$$\Theta' = \frac{t_u + t_v}{2} \qquad \text{(partie principale)}$$

b) La correction de tension de vapeur pour U :

$$\Theta_u = 51{,}36\ \frac{f_u}{h_u} \qquad (3)$$

c) La correction analogue pour V :

$$\Theta_v = 51{,}36\ \frac{f_v}{h_v} \qquad (3')$$

d) La correction de latitude.

$$\Theta'' = 0{,}72\ cos\ 2L \qquad (4)$$

Les corrections *b* et *c* s'obtiennent de la façon suivante : les abscisses sont les tensions de vapeur

(graduation inférieure), les ordonnées sont les pressions. On a tracé, de dixième en dixième de degré, les lignes de correction constante qui sont des droites, d'après l'équation (3).

Ici encore on aura intérêt à reconstruire soi-même cet abaque en traçant ce faisceau de droites de correction constante à l'encre rouge, par exemple.

La construction est facilitée par la remarque que si l'on fait dans (3) :

$$\Theta = 0{,}1\,k \qquad \text{et} \qquad f = 2k$$

on obtient :

$$h = \frac{51{,}36}{0{,}1}\,2 = 1027{,}2\ mb$$

Donc l'horizontale correspondant à l'ordonnée 1.027,2 est découpée par les droites à tracer (correspondant à k entier) en des segments constants de longueur égale à la longueur correspondant à $2mb$ de tension. Avec l'échelle choisie ces segments sont de 5 mm. On voit de même que, dans ces conditions, l'horizontale d'ordonnée

$$h = \frac{4}{5}\,1027{,}2 = 817{,}8\ mb$$

est découpée par les mêmes droites en segments de 4 mm.

Reste la correction de latitude. On l'obtient en cherchant sur quelle droite du faisceau précédent se trouve le point de la courbe pointillée qui a pour ordonnée la latitude moyenne des deux stations. Cette courbe se construit facilement par points d'après la table. On notera que les droites d'abscisse constante ne sont pas des verticales, mais les obliques du faisceau (3) précédemment construit.

Emploi

On trouvera un exemple d'emploi de l'abaque dans chacun des deux cas les plus fréquents (calcul d'altitude et réduction au niveau de la mer) dans le coin supérieur gauche de la planche I.

Cet abaque a été établi primitivement pour étudier les variations annuelles et journalières de Z avec les lieux et les époques des observations, dans l'espoir de déterminer pour chaque région quelles seraient les valeurs des éléments (moyennes annuelles pour une certaine heure, moyennes journalières pour une certaine saison, etc...) à introduire dans la formule (A) pour obtenir une valeur suffisamment exacte de la différence d'altitude de deux stations, et pour guider le choix d'une station de base selon l'emplacement de la station d'altitude inconnue.

On concevra sans peine qu'une telle étude exige de longues séries de calculs sur la formule de Laplace. C'est dans des cas analogues que cet abaque rendra des services appréciables. On aura alors intérêt à disposer les calculs de façon à faire les lectures en série. Par exemple, dans l'étude citée plus haut, on a procédé comme suit :

On a commencé par faire pour chaque station des « calculs préliminaires » donnant :

d'une part la série des Y_u en fonction des h_u,

d'autre part la série des « demi-températures réduites » se rapportant à U, c'est-à-dire des valeurs de l'expression :

$$T_u = \frac{t_u}{2} + 51{,}36\,\frac{f_u}{h_u} + 0{,}36\ cos\ 2L_u$$

Une fois en possession de ces séries de valeurs, on pouvait comparer deux stations quelconques en formant la série des « premières hauteurs approchées ».

$$Y_u^v = Y_u - Y_v$$

et la série des « températures réduites » :

$$\Theta_u^v = T_u + T_v$$

A partir desquelles l'abaque donnait la série des Z.

Remarques

1° Toutes les simplifications que l'on a fait subir à la formule complète pour obtenir (A) correspondent à une approximation par défaut. Cette erreur n'excède pas 0,6 mètre dans le cas d'un calcul d'altitude.

2° Il est inutile de chercher à obtenir une approximation de moins d'un mètre ou 1 dixième de mb, la formule de Laplace impliquant trop d'hypothèses simplificatrices pour que la recherche d'une telle précision paraisse intéressante.

3° Cet abaque met en évidence avec netteté l'importance croissante de la température. L'altitude de 1.500 m. paraît bien être la limite supérieure extrême au-dessus de laquelle l'emploi de la formule n'est plus justifié.

4° On trouvera les formules et les tables utilisées pour construire cet abaque dans les Instructions Météorologiques d'A. Angot, pp. 20 et suiv., 34 et suiv. et Tables VI.

J. Barberon,

La brise de mer à Kouroussa (Guinée Française)

D'une façon générale, au début de la saison des pluies, il s'établit chaque jour, à Kouroussa, à partir de 18 heures, un calme total qui dure toute la nuit. Mais au cours des mois de mars 1935 et 1936, très régulièrement, vers 10 ou 11 heures du soir, est apparu brusquement un vent du secteur Ouest (ouest à Sud-Ouest), de 5 à 7 m/s, soufflant pendant deux ou trois heures, puis disparaissant aussi brusquement.

Un examen attentif, d'une part, des diagrammes correspondant à ces périodes et, d'autre part, de l'état atmosphérique en général, permet de supposer qu'on se trouve en présence d'une pénétration de la brise de mer, venant de la région de Conakry. La supposition peut évidemment paraître surprenante, le poste de Kouroussa étant situé à près de 350 kms. de l'Océan (la côte la plus rapprochée se trouve au Sud-Ouest, un peu au Nord de Freetown).

Les variations brusques, véritables crochets, qu'enregistrent les appareils, présentent une similitude parfaite avec les exemples classiques de diagrammes correspondant à la brise de mer, comme ceux de Joal sur la Petite Côte du Sénégal.

Le vent observé, frais et humide, est indiscutablement un vent marin.

A la latitude de Kouroussa, à cette saison, l'atmosphère est encore relativement sèche grâce aux vents du secteur Est (harmattan) qui soufflent à peu près chaque après-midi. Il n'est donc pas étonnant que la brusque arrivée d'un vent marin, dans un milieu très différent, provoque de tels crochets.

Il était alors nécessaire de vérifier si les journées au cours desquelles ce phénomène était particulièrement net à Kouroussa, correspondaient aux journées de forte brise de mer sur la côte.

Les seuls renseignements que nous possédions étaient ceux de la station de Conakry.

Sur la côte, en janvier, le double phénomène de la brise de terre et de mer se manifeste régulièrement ; mais la pénétration de la brise de mer est faible, d'autant plus que la base de l'harmattan s'étend au sol jusqu'à proximité de la côte.

Mais, en février, la mousson commence à s'établir sur la côte de Guinée. Le matin, la brise de terre n'apparaît plus différenciée, mais son incorporation dans la mousson conduit à une déformation de ce vent qui prend alors une direction du secteur Nord (Nord-Nord-Ouest à Nord-Nord-Est. Dès le début de l'après-midi, la brise de mer s'établit. Elle a la même direction que la mousson mais il semble qu'on peut admettre qu'au début, du moins, il y ait superposition des deux vents. Le vent est intense au sol ; or, d'une façon générale, lorsque la mousson souffle seule, elle a son maximum d'intensité dans sa tranche moyenne. Il y a évidemment, à mesure que la mousson pénètre à l'intérieur, brassage des deux masses d'air, mais l'augmentation d'intensité et d'humidité, apportée par la brise de mer, persiste et continue à être apparente assez loin à l'intérieur.

Le nombre d'heure pendant lequel, au-dessus de la Haute-Guinée par exemple, la mousson deviendra plus intense et plus humide, est à peu près celui de la durée de la brise de mer sur la côte. Ensuite, l'intensité et l'humidité faiblissent.

C'est ce phénomène qui, à notre avis, apparaît sur les diagrammes de Kouroussa (fig. p. 81).

Voici un exemple : journées des 18 et 19 mars 1935 :

A Conakry, le matin, souffle un vent de Nord à Nord-Ouest, entre 0 et 1.000 mètres environ. C'est certainement la mousson déviée par la brise de terre. A partir de midi, on observe un important renforcement du vent au sol, provoqué par la formation de la brise de mer. Les sondages de 17 heures à Conakry (au cours de ces deux jours) font apparaître entre 0 et 300 à 400 mètres, un vent d'Ouest à Ouest-Sud-Ouest et ensuite jusqu'à 800 à 900 mètres un vent d'Ouest à Ouest-Nord-Ouest, puis un passage progressif à l'harmattan. La vitesse dans les couches voisines du sol atteint 40 à 50 kms. heure. Ce renforcement quotidien de la vitesse du vent ne peut être attribué qu'à la brise de mer.

Le poste de Kouroussa, étant situé à 350 kms. de la côte, c'est donc vers 20 heures que ce vent doit y apparaître ; c'est en effet ce qui a lieu. Il se traduit d'une part, par une augmentation de vitesse qui a été effectivement constatée et, de l'autre, par une élévation d'humidité et une baisse de la tem-

pérature qui apparaissent nettement sous forme de crochets sur les diagrammes.

La brise de mer disparaît à Conakry vers 18 à 19 heures, sa durée est donc de 6 à 7 heures. A Kouroussa, le phénomène cesse vers deux heures du matin, c'est-à-dire qu'il s'est manifesté pendant à peu près le même temps ; bien que la mousson continue ensuite à souffler jusqu'à midi environ. Evidemment la durée du phénomène à Kouroussa est assez variable, et peut être inférieure à quatre heures. Elle doit dépendre essentiellement de l'intensité de la brise de mer sur la côte.

Si ces variations sont si nettement apparentes à Kouroussa, cela provient du fait que l'harmattan persiste encore en Haute-Guinée, au cours des après-midi, et que l'état atmosphérique est encore assez sec. Tandis qu'à Conakry ce phénomène, apparent en saison sèche où la mousson se manifeste que par intermittence, ne l'est plus à partir de février et mars. En effet, la mousson devient à ce moment continue, l'état hygrométrique reste constamment élevé et l'humidité apportée par la brise de mer ne modifie pas beaucoup celle déjà acquise par la mousson elle-même. Seule l'augmentation de la vitesse du vent dans l'après-midi, au voisinage du sol, indique la formation de la brise de mer (1).

En somme, si les manifestations de la brise de mer sont nettes à Kouroussa, c'est uniquement parce qu'on se trouve en présence d'un vent côtier frais et humide, d'origine locale, s'incorporant dans un vent régulier de même sens qui le transporte dans des régions continentales encore sèches et chaudes.

A Joal, par contre, à la même époque, la brise de mer, en pénétrant vers l'intérieur, rencontre rapidement l'alizé, vent de direction opposée, qui constitue un obstacle à sa propagation.

Au contraire, en Guinée, en mars, la limite d'expansion de l'harmattan au sol ne dépasse pas vers le sud, la latitude de Kouroussa. Ce courant ne constitue donc généralement pas un obstacle à l'arrivée de la brise de mer. Même lorsque l'harmattan souffle alors au-dessus de Kouroussa, il est affaibli, et ses apparitions alternent avec des périodes de calme (au cours des après-midi), créant des conditions très favorables à la formation abondante d'air ascendant et à la baisse barométrique. C'est d'ailleurs, en Haute-Guinée, l'époque du minimum barométrique et du maximum de température annuels. Cette baisse est comblée par une aspiration de la mousson, d'abord intermittente au début de l'hivernage, puis continue, lorsque les basses pressions émigrent plus au Nord. La brise de mer qui s'est incorporée au départ, sur la côte, à la mousson est véhiculée dans ce vent et apparaît à Kouroussa. Elle est décelable par les variations brusques au début de la saison des pluies, ainsi que le montrent les diagrammes ci-joints, parce que le temps est encore normalement chaud et sec ; elle n'est plus apparente en hivernage — sauf par un accroissement nocturne de la vitesse — parce qu'à cette saison l'état hygrométrique nocturne est constamment voisin de la saturation.

Nous avons pris comme exemple les journées des 18 et 19 mars 1935. Le même phénomène, observé au cours des autres journées figurant sur les diagammes, trouve identiquement confirmation dans les observations de Conakry. Les mêmes faits ont été observés en 1936, à la même époque.

Il est évident que l'explication du phénomène observé, telle qu'elle a été présentée dans cette note, n'est qu'une hypothèse personnelle, résultant de deux années d'observations. Il semble cependant que c'est la meilleure interprétation qui puisse venir à l'esprit. D'ailleurs, le manque de relief, l'absence de vastes étendues d'eau dans la région de Kouroussa, les basses eaux du Niger à cette saison, ne permettent pas d'assimiler les faits observés à un phénomène d'origine locale tel que brise de fleuve ou brise de montagne par exemple. Il paraît donc normal que le renforcement d'intensité et d'humidité que la mousson a acquis sur la côte par l'incorporation de la brise de mer, se ressente en Haute-Guinée.

A. Foissy,
Météorologiste du Gouvernement Général de l'A. O. F.

(1) Le même phénomène se produit plus tard à Kouroussa (à partir de mai) lorsque la mousson devient vent régulier et que l'humidité au cours des nuits reste au voisinage du point de saturation. Il n'y a plus aucun crochet, mais on observe simplement un accroissement de vitesse au cours des premières heures de la nuit.

Vents en altitude à Fort-Lamy (Tchad)

Les graphiques de vents en altitude que nous présentons ici sont les résultats des premières mesures effectuées au Tchad sur cette matière. Nous voulons espérer que ces sondages, en dépit de leur valeur très irrégulière, pourront apporter un utile complément à notre connaissance de la circulation atmosphérique au-dessus du continent africain. Nous nous excusons de ce que les circonstances ne nous aient généralement permis, ni de choisir les jours et les heures les plus favorables à des études théoriques, ni de pousser les mesures aux altitudes maxima.

Nous avons dû nous limiter, pour des raisons d'ordre typographique, à la présentation des graphiques d'avril 1936 à mars 1937. Les signes adoptés sont ceux des conventions courantes : les flèches volent dans le sens du vent, les directions sont en rose de 16, les vitesses comptées dans l'échelle de Beaufort (les « calmes », représentés par un point, sont les vitesses inférieures ou égales à 1 m/sec.).

En regard de ces graphiques, et pour faciliter es comparaisons entre les évolutions des courants et les valeurs relevées au sol, nous avons noté :

1° Les valeurs journalières de la pression normale au sol à 6 heures GMT ; d'où la connaissance du sens et de la grandeur des variations en 24 heures ;

2° Les valeurs journalières de la tension de vapeur à 11 heures GMT. Le choix de cette heure permet d'éliminer en général les variations dues à des causes locales (voisinage de nappes d'eau) ; les notations à 11 heures GMT donnent sensiblement les valeurs de l'humidité dans les courants des couches basses.

3° Les extrêmes de la température sous abri. (Fig. p. 82-87).

Notre but, en établissant ces graphiques, a été de chercher à fournir un matériel d'étude ; aussi nous abstiendrons-nous ici de commenter les mesures faites sur les courants des hautes et moyennes altitudes. Nous nous permettrons toutefois de consigner les résultats de nos observations personnelles sur les vents des couches basses, en raison des particularités locales qui peuvent y être mises en évidence.

Enfin, nous présenterons quelques courbes de vitesses moyennes, dont le calcul n'est possible qu'à l'aide des carnets de sondage et des documents de première main conservés à la station. (Fig. p. 88).

Les vents des basses altitudes

Les vents au sol et dans les basses altitudes se répartissent en deux groupes principaux d'individualités très distinctes :

1° Les vents d'été du Sud-Ouest, (mousson humide), qui soufflent d'avril à octobre et sont les générateurs de pluies.

2° Les vents d'hiver du Nord-Est, qui soufflent au sol pendant la saison sèche (novembre à mars) et sont de même nature que le vent sec et chaud désigné en A. O. F. sous le nom d'harmattan (1).

1° *La mousson humide.* — C'est à la présence de ce vent qu'est étroitement liée la formation des pluies dans la région du Tchad (comme dans la plupart des régions africaines continentales de climat soudanien) ; c'est dire son extrême importance pour la vie des populations. On sait, par les études de M. Henry Hubert, qu'il s'agit d'une couche humide d'origine maritime qui est aspirée par le centre chaud du Sahara lorsque le soleil passe au zénith dans la région du tropique.

A Fort-Lamy, cette couche se présente avec les caractéristiques suivantes :

a) La tension de vapeur y est en moyenne de 17 à 18 mm. de mercure, et peut s'élever aux heures chaudes jusqu'à 34 ou 38 mm. (ces maxima étant exceptionnels).

b) La nébulosité qui se manifeste en sa présence est presque toujours de caractère orageux : une invasion durable de la mousson donne toujours lieu, au moins pendant les heures chaudes, à la formation de nuages de détente pouvant engendrer des orages ou des averses d'instabilité ; de plus, des ciels de ce genre semblent être, au Tchad, absolument spécifiques de la mousson.

(1) Rappelons qu'en de nombreuses régions tropicales, les colons ont l'habitude de désigner par « hivernage » la saison des pluies ; ce terme peut prêter à confusion et nous avons évité de l'utiliser.

c) Sa direction générale Sud-Ouest n'est constante que le matin et en l'absence des formations orageuses ; il semble que les mouvements variés et souvent très violents qui se manifestent dans la mousson, pendant et après les heures chaudes, tendent à contrarier son déplacement d'ensemble vers le Sud-Ouest, et que le flux résultant au-dessus de la station soit, en définitive, assez faible. L'absence d'enregistrements du vent au sol pour la saison 1936 ne nous permet pas, toutefois, d'approfondir ce point.

d) Son action sur la température se manifeste en général par un léger relèvement de la moyenne et surtout par un resserrement très sensible de l'écart entre les extrêmes ; ce resserrement est dû, en partie, à la nébulosité ; mais il convient de l'attribuer aussi à l'inertie thermique propre de l'air humide, car il reste très sensible par nébulosité faible ou nulle.

e) Accessoirement, on note en général une baisse de la pression lors de l'apparition de la mousson, mais ce caractère n'est pas constant.

Lors d'une invasion très brève de la mousson en début ou en fin de saison, ces caractères peuvent ne pas se manifester dans leur ensemble ; la masse d'air ne peut être alors identifiée qu'avec l'aide des cartes synoptiques.

En nous aidant de ces remarques, nous avons établi le schéma de la page 88 qui définit les dates d'apparition et le développement de la mousson en altitude pour l'années 1936 (1). On y voit notamment :

a) Que la mousson s'établit par invasions successives (qui peuvent être orageuses et pluvieuses) ; dans l'intervalle de celles-ci réapparaît le vent sec de Nord-Est, caractéristique du régime d'hiver. Son retrait est également suivi de retours peu durables (qui peuvent être, de même, orageux et pluvieux).

b) Que le développement de la mousson en altitude est très variable : 1.000 à 1.500 mètres au-dessus du sol en moyenne ; en 1936 le développement maximum est noté en août (4.000 m. environ), cependant qu'en juillet son plafond s'abaisse fréquemment au-dessous de 500 mètres.

c) Qu'il n'y a pas à priori de relations directes entre le développement de la mousson en altitude et la pluviosité, puisque les mois de plus forte pluviosité sont juillet (240 mm. en 18 jours) où l'extension en altitude est faible, et août (206 mm. en 23 jours) où l'extension en altitude est la plus forte.

(1) Il faut rappeler que cette année, la seule pour laquelle on possède jusqu'ici des renseignements complets, a été caractérisée par une pluviosité exceptionnellement abondante et une invasion précoce de la mousson.

Nous croyons utile d'esquisser le problème de l'extension géographique de la mousson dans les territoires du Tchad, bien que ce sujet déborde le cadre des mesures effectuées à Fort-Lamy. Nous n'avons la possibilité de nous référer ici qu'à des observations pluviométriques ; remarquons toutefois que si elles étaient suffisamment complètes, celles-ci nous permettraient de déterminer la zone d'extension « utile » pour la vie des populations ; les zones où la mousson se manifeste sans abandonner de pluies appréciables n'ont qu'un intérêt théorique.

Or, le tableau ci-dessous montre que la mousson s'est comportée de façon bien différente au cours des années 1935 et 1936 :

		Hauteur de pluies en 1935	Hauteur de pluies en 1936
Fort-Lamy	(12° N)	368 mm.	723 mm.
Ati	(13° N)	»	451 —
Abéché	(14° N)	»	449 —
Fada	(17° N)	40 mm.	176 —
Faya	(18° N)	Traces	503 —

Les relevés de pluie pour 1936 ont pû être partiellement complétés à l'aide des indications contenues dans un rapport du M. le Chef de Bataillon Ferrucci, commandant le département du Borkou-Ennedi-Tibesti, et dont nous extrayons les passages suivants : (1)

« ... Des pluies très abondantes tombent depuis « plus d'un mois sur tout le territoire du départe- « ment. Un pareil fait ne s'était pas produit depuis « de longues années : 1929 pour Faya-Largeau, « 1914 pour Tekro, disent certains. Aussi les in- « digènes, qui envisagent la création de riches pâ- « turages, se réjouissent de cette année pluvieuse « exceptionnelle.

« ...Les résultats des différentes pluies seraient « les suivants :

« Tibesti :

« Les enneries ci-après ont coulé :

(1) Ce rapport est daté du 18 août 1936. Il a donc été rédigé bien avant la fin de la saison des pluies, puisque la station de Faya-Largeau a relevé pour le mois de septembre seulement 300 mm. de hauteur d'eau. Des renseignements moins prématurés auraient certainement mis en évidence une abondance de pluie bien plus remarquable encore que celle qui est signalée ici.

« Tiouna-Aone-Tehagam, Merse-Saadi-Mac (1).

« Les zones ci-après seraient suffisamment trem-
« pées pour permettre la création de pâturages :

« Ouest de Zouar, Ouest du Mont Sunni, versant
« Sud du Tasso-Toon et du Tasso-Tiri (2), région
« d'Ouantagoi.

« A la date du 11 août il était tombé :

« A Zouar, 165 mm. d'eau, à Cherda, 100 mm.,
« à Tasso Wobou, 60, à Goubane, 50.

« Borkou :

« L'oued Ron aurait coulé...

« Ennedi :

« Les oueds Teda, N'Kaola, Oum-Hadjer ont
« coulé.

« D'autre part, au 16 août, il était tombé :

« 114 mm. d'eau à Fada, 65 mm. à Tekro, 220 à
« Ounianga-Seghir, 120 à Ounianga-Kebir ».

Ces renseignements, pour intéressants qu'ils soient, sont cependant trop succints pour pouvoir servir au tracé de courbes isohyètes. Leur étude permet toutefois de se faire une idée d'ensemble de la zone d'extension des pluies :

En 1935, année de faible pluviosité, les pluies ne semblent pas être remontées au-delà du 18° N dans la cuvette tchadienne (traces à Faya, aucune précipitation signalée dans les oasis des confins Nord).

En 1936, années de pluviosité exceptionnelle, les pluies ont vraisemblablement dépassé le 21° N à l'Ouest du Tibesti où elles sont abondantes (Zouar, Tasso Suni et Tasso Toon) ; à l'est du Tibesti, par contre, elles semblent s'être arrêtées un peu au Sud du 20° N. Tout se serait donc passé comme si la ligne montagneuse Darfour-Tibesti avait formé obstacle à l'extension de la mousson, en lui imposant comme limite septentrionale celle de son arête orientée grossièrement Nord-Ouest-Sud-Est. Un autre effet du relief aura été de provoquer des précipitations plus abondantes sur les flancs sud et ouest du Tibesti (Faya, Zouar), que dans la cuvette tchadienne à plus basse latitude.

Ces observations tendent à confirmer une remarque qui nous avait été déjà suggérée par l'examen des cartes synoptiques : l'extension de la mousson et son comportement en tant que génératrice de pluies, sont fortement influencés, entre autre facteurs, par les conditions géographiques locales.

(1) Entre 20 et 21° N, 16 et 17° E.

(2) Vers 21° N et 17° E.

2° *Les vents d'hiver du Nord-Est.* — Ce sont ces vents que l'on trouve toujours au sol à Fort-Lamy, à de très rares exceptions près, lorsque ne souffle pas la mousson humide. On les observe donc en permanence de novembre à mars, ainsi que pendant les intervalles des invasions temporaires de la mousson au début et à la fin de la saison d'été.

Ces vents se caractérisent :

1° Par leur direction, presque toujours comprise entre Nord et Est le matin, avec plus grande fréquence au Nord-Est. Il semble que l'action du relief joue un certain rôle dans la stabilité de cette direction, car tout se passe le plus souvent comme si les masses d'air circulant sur la cuvette tchadienne y avaient pénétré par le couloir Ennedi-Tibesti. Parfois, et indépendamment de l'évolution diurne que nous signalerons plus loin, ce vent devient Nord-Ouest à Nord-Nord-Ouest assez fort ou fort, mais ce cas particulier n'est jamais durable.

2° Par leur humidité faible ; la tension de vapeur aux heures chaudes y est le plus fréquemment comprise entre 3 et 6 mm. de mercure ; quelques mesures, soigneusement contrôlées au psychromètre-fronde, nous ont parfois donné moins de 1 mm. ; si la tension peut s'élever parfois jusqu'à une dizaine de mm., elle reste toujours, quoi qu'il en soit, très inférieure à celle de la mousson.

3° Par leur action sur la température ; c'est lorsque ces vents soufflent au sol que se produisent les plus grands écarts entre les extrêmes diurnes de température (exception faite, bien entendu, pour les crochets d'orage en régime de mousson). L'amplitude de la variation diurne peut atteindre alors 25 degrés, et même exceptionnellement 26 (23 mars 1936 : minimum : 20,6 ; maximum : 47).

4° Par leur action sur la nébulosité qui est un caractère négatif : leur présence au sol est incompatible avec celle des nuages à développement vertical sur la station. Mais toute la gamme des nuages horizontaux peut se manifester en leur présence, bien qu'en général la nébulosité soit faible et limitée aux nuages élevés.

Evolution diurne. — La direction générale Nord-Est ne se manifeste nettement et avec constance, à Fort-Lamy, que le matin avant 14 heures. Le plus souvent, dans l'après-midi ou la soirée, la direction tend à passer au Nord, puis au Nord-Nord-Ouest, en même temps que s'élève la tension de vapeur. Cette évolution ne se manifeste généralement que dans les couches basses en dessous de 800 mètres ;

J.BARBERON

ABAQUE POUR LA FORMULE DE LAPLACE SIMPLIFIEE

$$Z^{v}_{u} = 18\,400(\log_n h_u - \log_n h_v)\left(1 + \frac{\theta}{273}\right) \quad \text{avec:} \quad \theta = \frac{t_u+t_v}{2} + 51{,}46\left(\frac{f_u}{h_u} + \frac{f_v}{h_v}\right) + 0{,}72\cos 2L$$

PRINCIPE (voir la figure ci-dessous)

I°) Les tronçons de courbe (I) représentant la fonction :

(I) $Y_n = 18\,400 \log h_n$ — Abscisses: h_n (échelle 1cm pour 1 unité) — Ordonnées: Y_n (échelle 1cm pour 10 unités)

2°) Les obliques convergentes (2) représentant le faisceau de droites:

(2) $\left(1 + \frac{\theta}{273}\right) Y^{v}_{u} = Z^{v}_{u}$ — Abscisses: Z^{v}_{u} échelle 1cm pour 10 mètres — Ordonnées: Y^{v}_{u} graduation sur la droite à 45° (θ=0)

EXEMPLES

A) Différence d'altitude de deux stations — Données: h_u=1012,2 mb h_v=987,8 mb θ=27°7

L'abaque donne, d'après la formule (I):.....Y_u=7497

et:.....Y_v=7302

D'où la "première hauteur approchée":.....$Y^{v}_{u} = Y_u - Y_v$ = 195

Sur la droite du faisceau (2) correspondant à θ=27°7, le point d'ordonnée 195 a pour abscisse:

Z^{v}_{u} = 215 "deuxième hauteur approchée"

B) Réduction au niveau inférieur — Données: h_v=987,8 mb Z^{v}_{u}=215 m θ=27°7

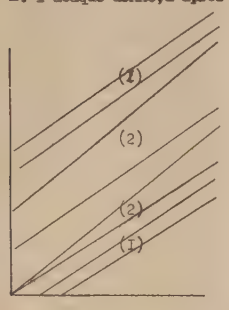
Sur la droite du faisceau (2) correspondant à θ=27°7, le point d'abscisse 215 a pour ordonnée:.....Y^{v}_{u} = 195

L'abaque donne, d'après la formule (I):.....Y_v=7302

D'où:.....$Y_u = Y^{v}_{u} + Y_v$ = 7497

Et l'abaque donne, d'après la formule (I):

h_u = 1012,2 mb "pression réduite



NOTATIONS

h = pression atmosphérique
f = tension de vapeur
Z^{v}_{u} = altitude de V par rapport à U (en mètres)
L = latitude commune aux deux stations
t = température centigrade

exprimées avec la même unité

Les indices n,u,v indiquant qu'il s'agit des valeurs des différents éléments aux points N,U,V.

PLANCHE I

(0 à 900 mètres)

CALCUL DE LA TEMPERATURE REDUITE

1°) Correction de tension de vapeur d'eau

Le point ayant pour abscisse la tension de vapeur et pour ordonnée la pression, se trouve sur l'oblique correspondant à la correction cherchée.

2°) Correction de latitude

Le point de la courbe pointillée ayant pour ordonnée la latitude se trouve sur l'oblique correspondant à la correction cherchée.

EXEMPLE Soient:

t_v=24°2 f_v=19,4 mb h_v=987,8 mb L=12 °26'
t_u=25°7 f_u=22,4 mb h_u=1012,2 mb

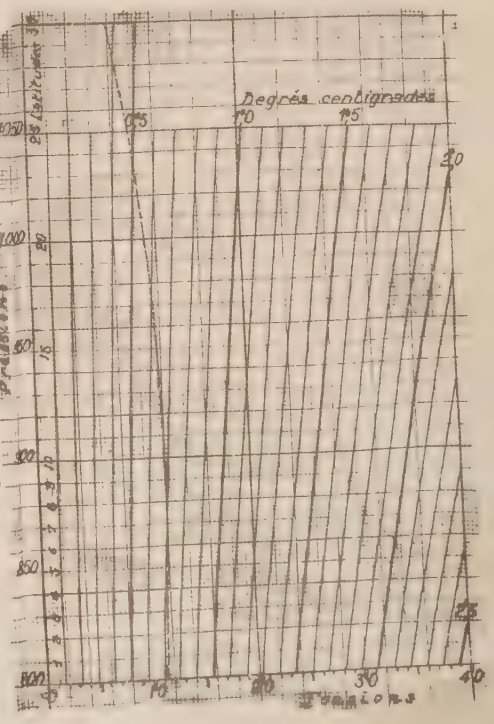
Moyenne des deux températures: $\frac{24°2 + 25°7}{2}$ = 24°95

1°) Correction de tension de vapeur
pour h_v=987,8 et f_v=19,4 l'abaque donne: 1°15
pour h_u=1012,2 et f_u=22,4 d° 0°95

2°) Correction de latitude
pour 12°26', l'abaque donne: 0°65

D'où la "température réduite: θ = 27°70

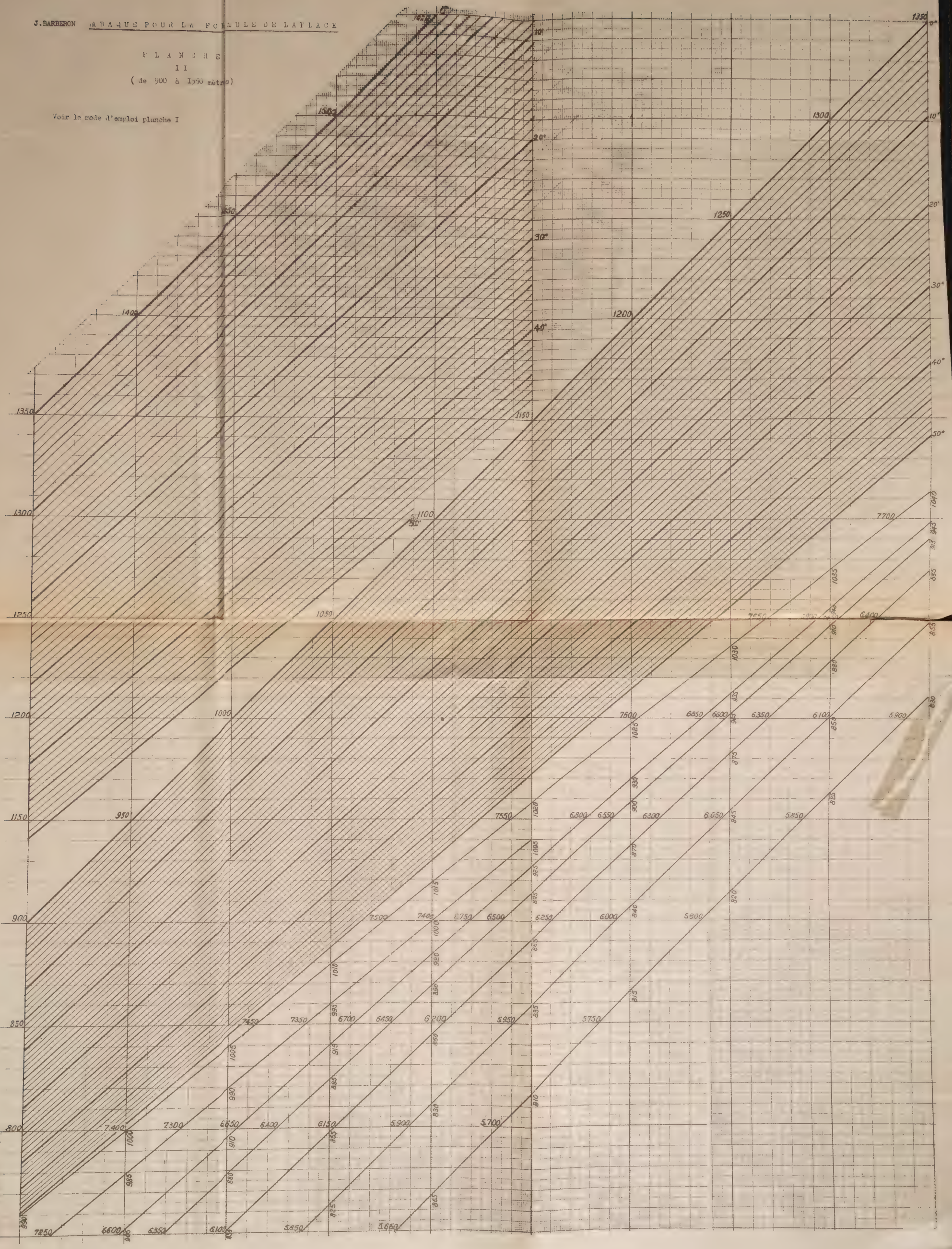
N.B. Dans ces calculs, la précision du $\frac{1}{2}$° de degré est plus que suffisante

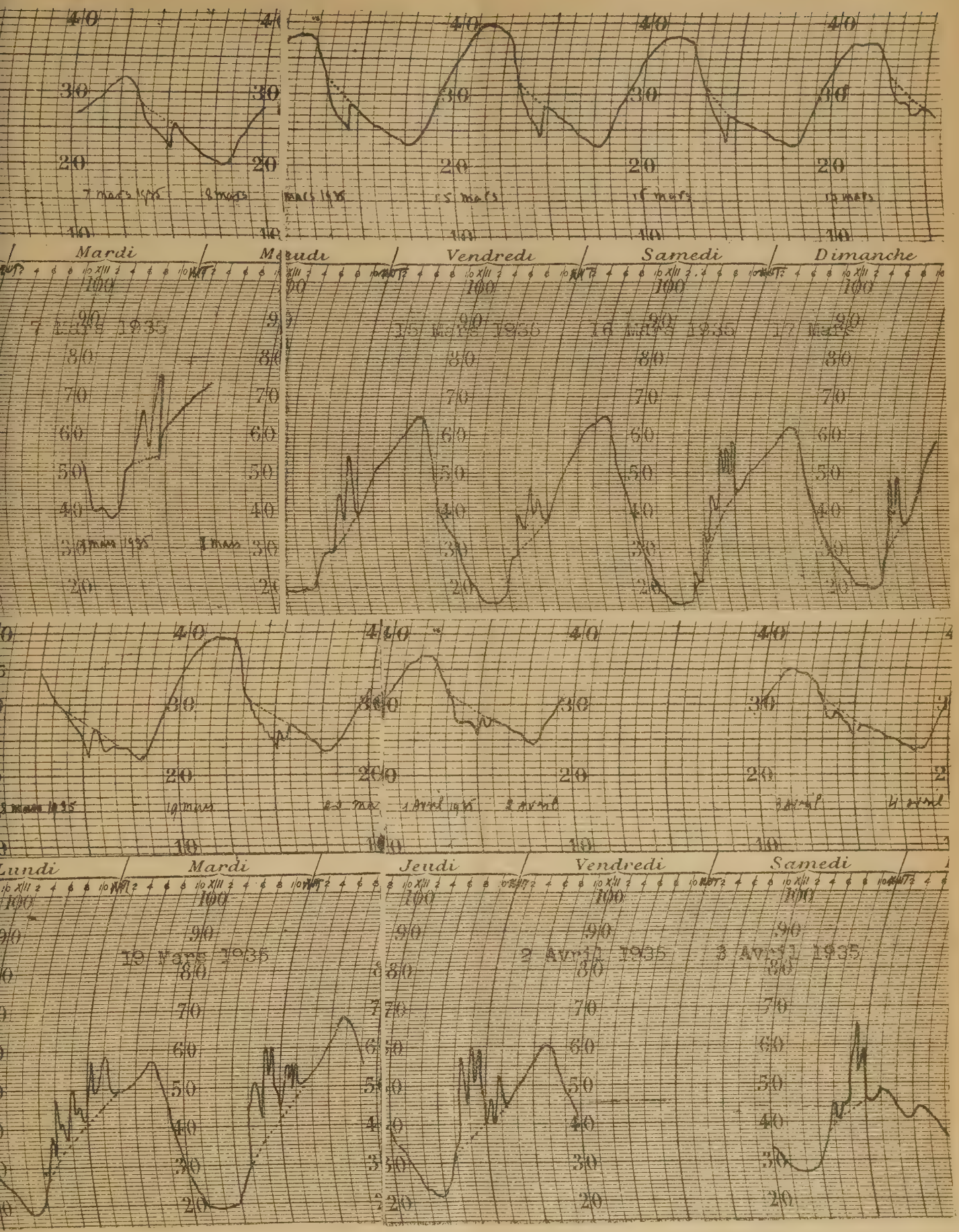


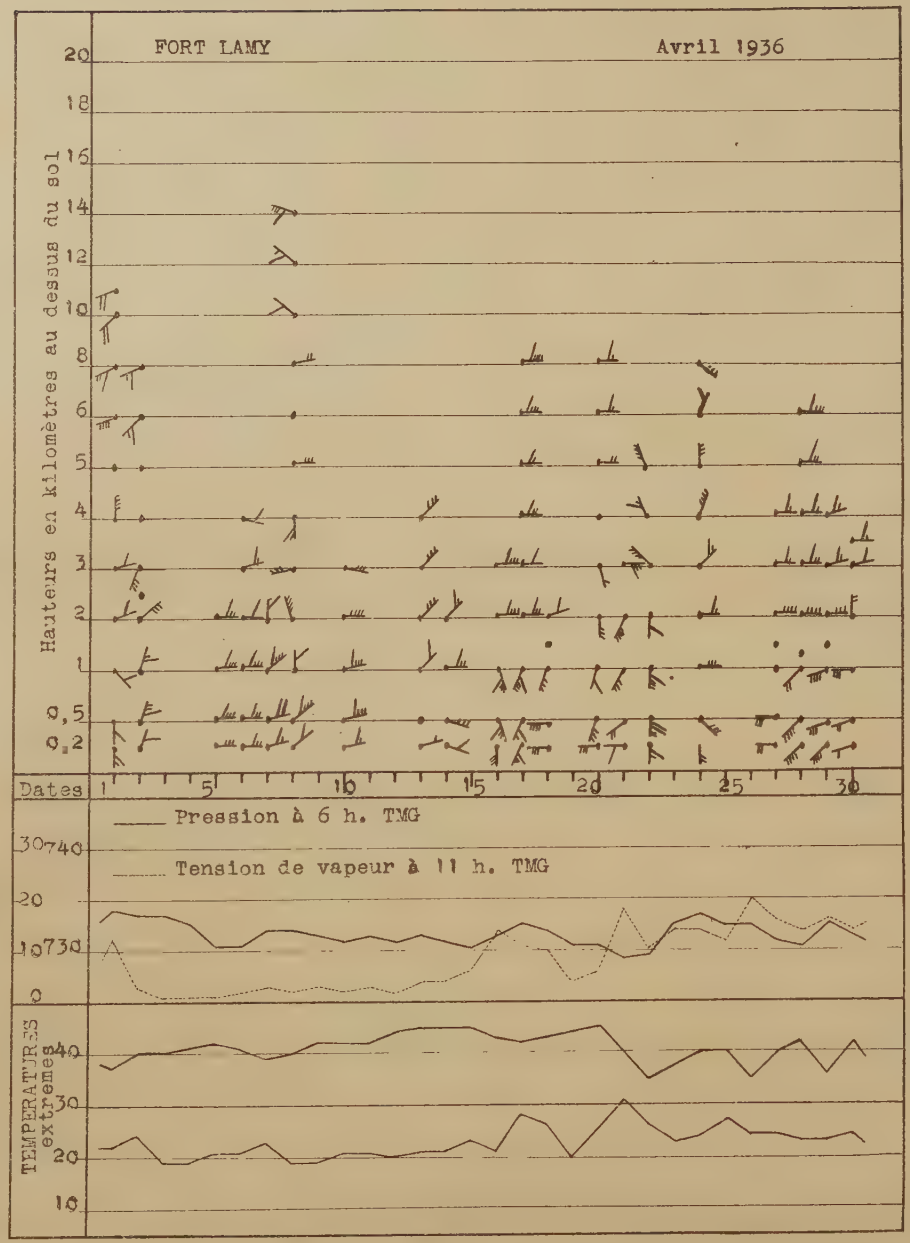
J. BARBERON — ABAQUE POUR LA FORMULE DE LAPLACE

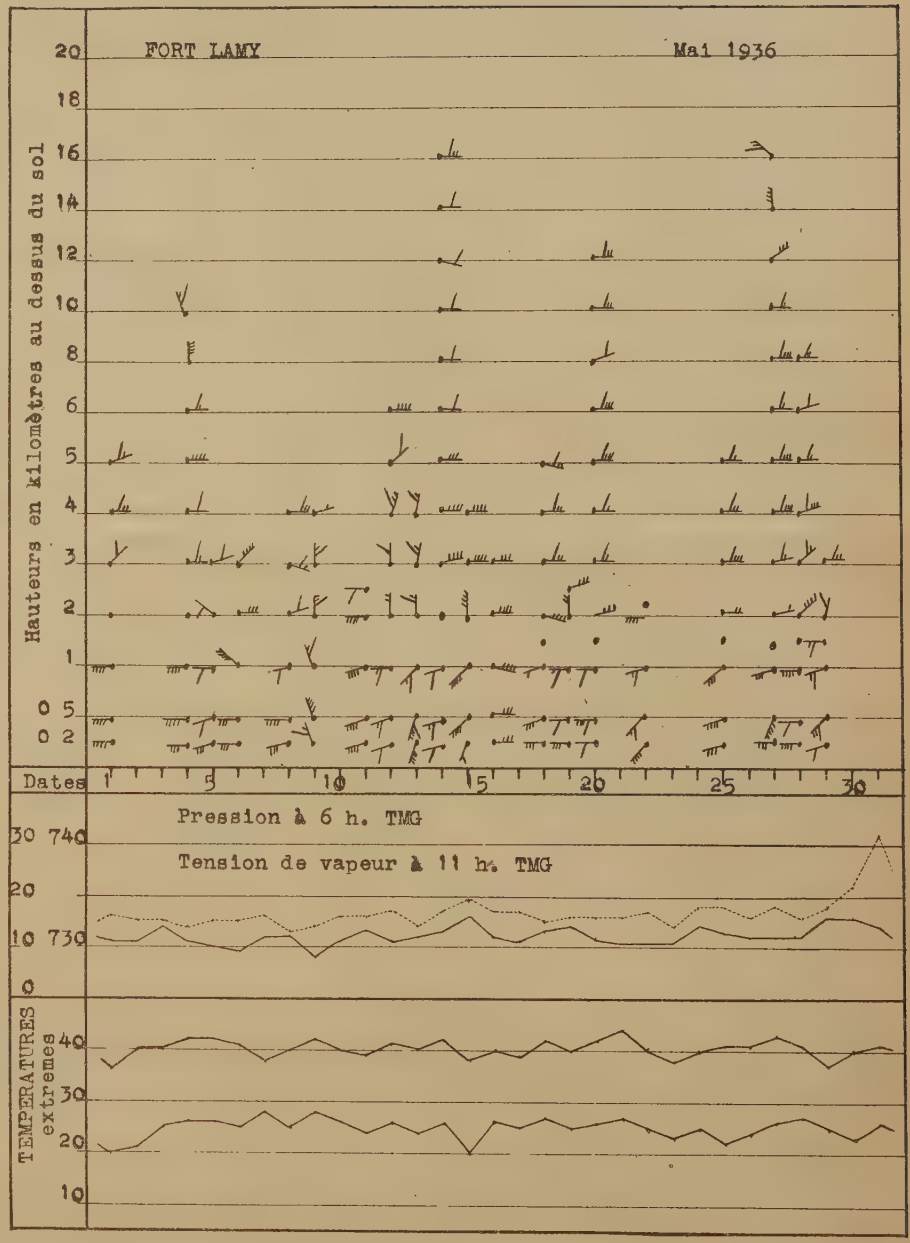
PLANCHE
II
(de 900 à 1350 mètres)

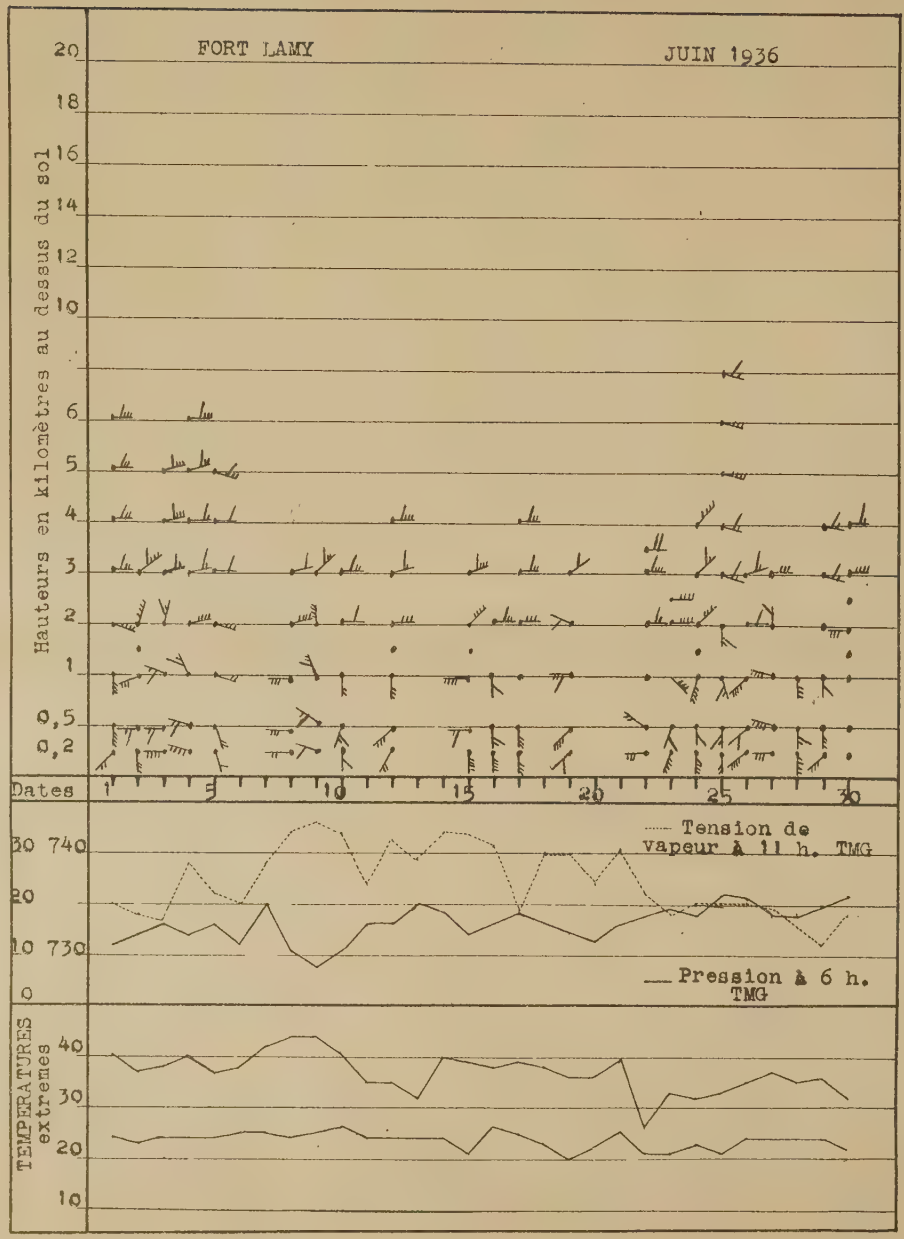
Voir le mode d'emploi planche I

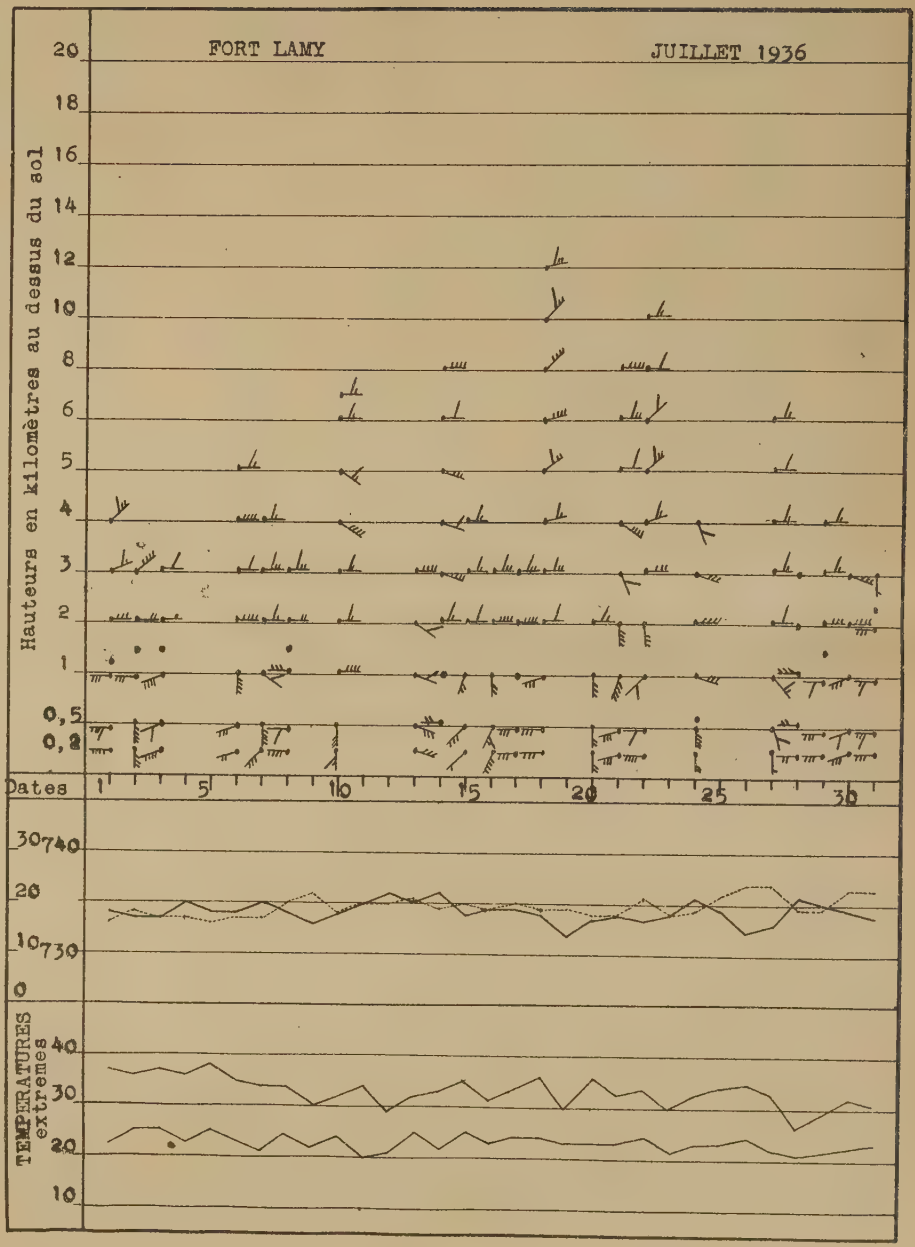


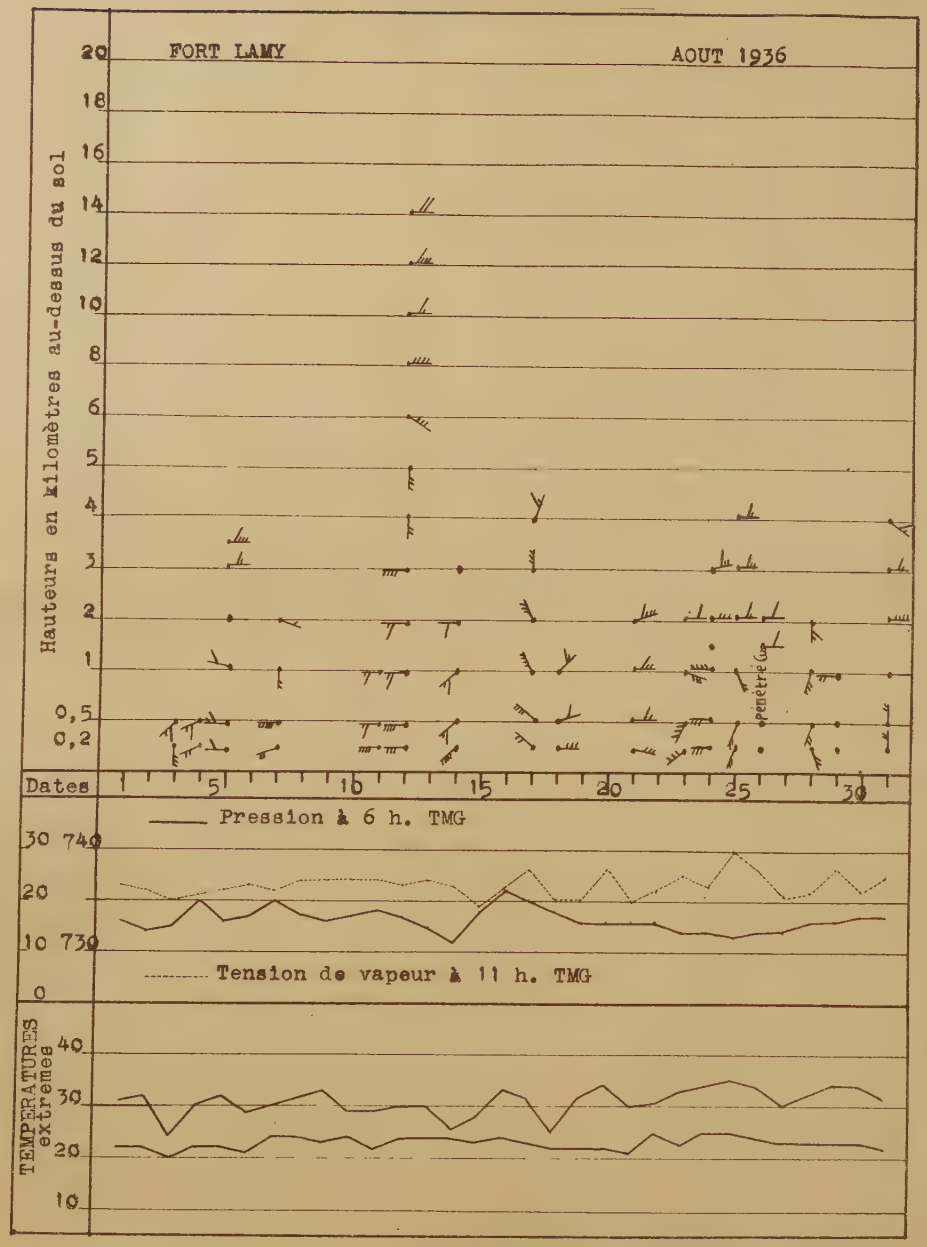

Mardi
Jeudi
Vendredi
Samedi
Dimanche
Lundi
Mardi
Jeudi
Vendredi
Samedi

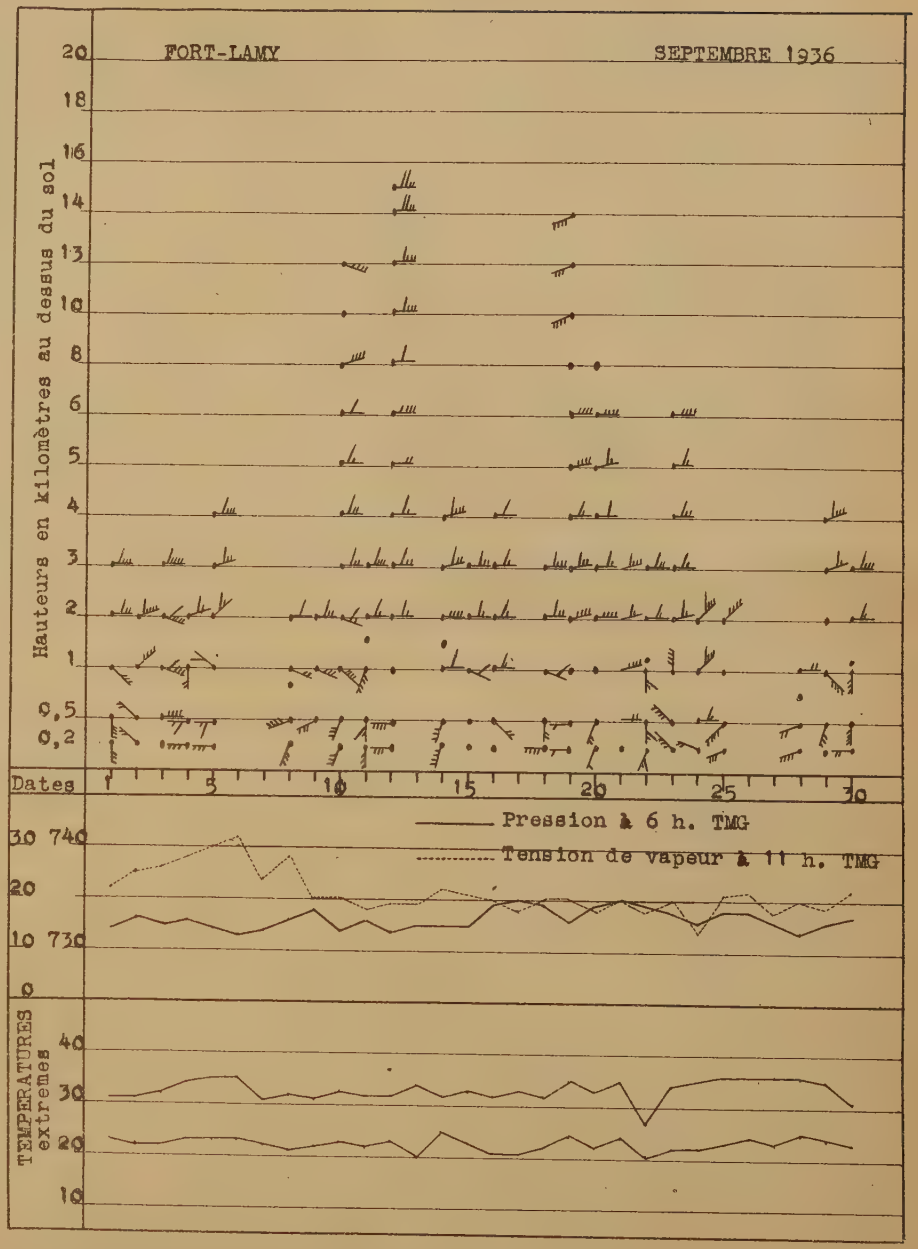

FORT LAMY
Avril 1936
Hauteurs en kilomètres au dessus du sol
20
18
16
14
12
10
8
6
5
4
3
2
1
0,5
0,2
Dates
1
5
10
15
20
25
30
Pression à 6 h. TMG
Tension de vapeur à 11 h. TMG
30 740
20
10 730
0
TEMPERATURES extremes
40
30
20
10

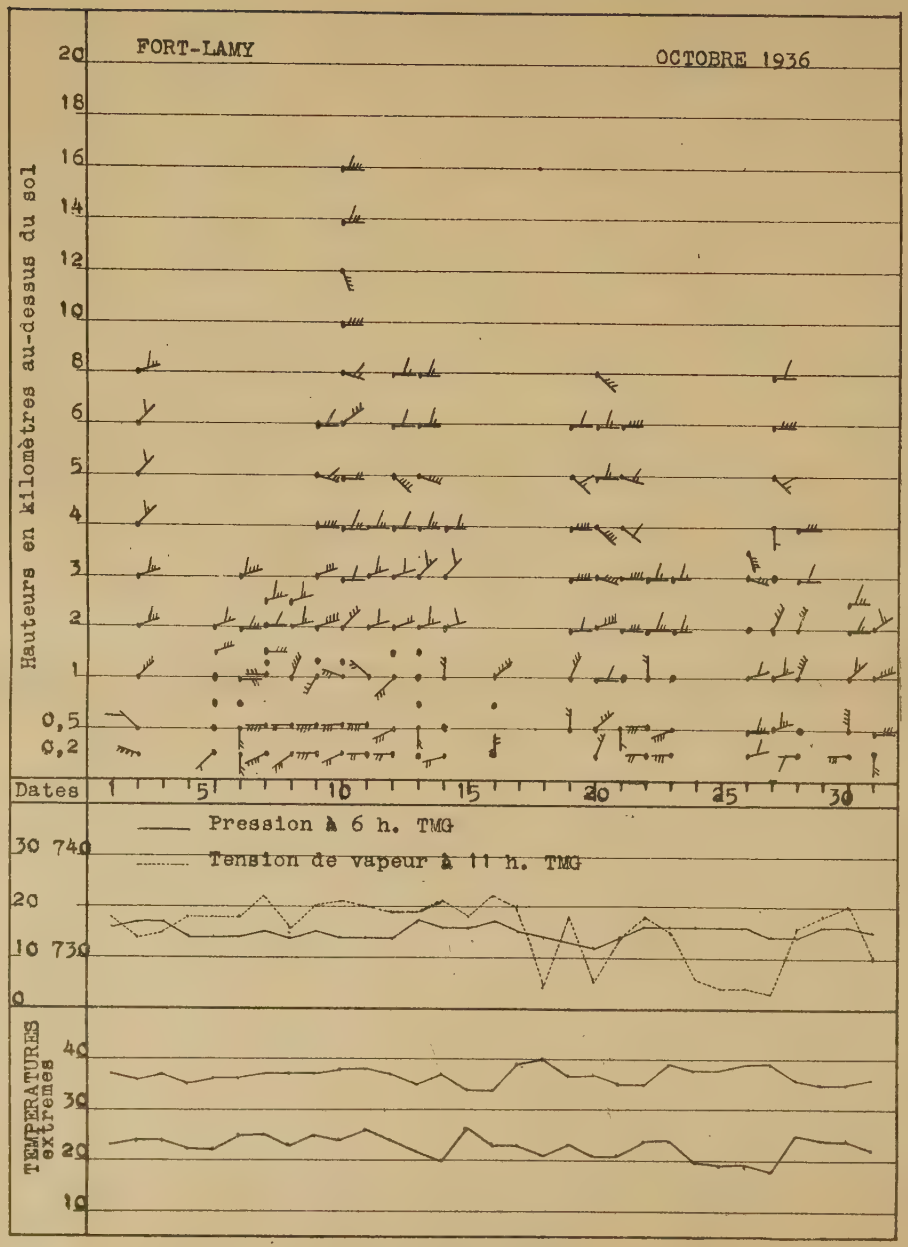

FORT LAMY
Mai 1936
Hauteurs en kilomètres au dessus du sol
20
18
16
14
12
10
8
6
5
4
3
2
1
0 5
0 2
Dates
1
5
10
15
20
25
30
Pression à 6 h. TMG
Tension de vapeur à 11 h. TMG
30 740
20
10 730
0
TEMPERATURES extremes
40
30
20
10

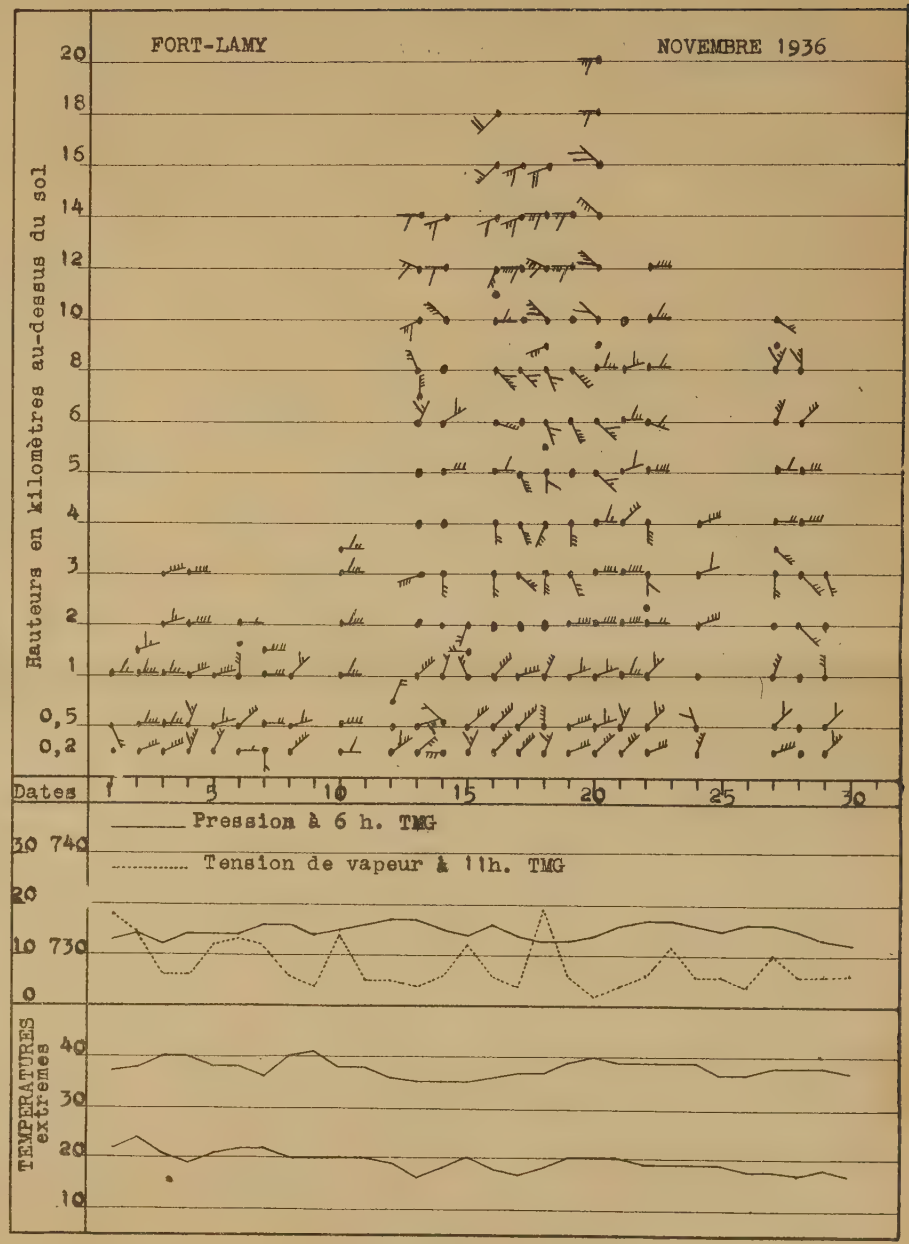

FORT LAMY
JUIN 1936
Hauteurs en kilomètres au dessus du sol
20
18
16
14
12
10
6
5
4
3
2
1
0,5
0,2
Dates
1
5
10
15
20
25
30
Tension de vapeur à 11 h. TMG
Pression à 6 h. TMG
30 740
20
10 730
0
TEMPERATURES extremes
40
30
20
10

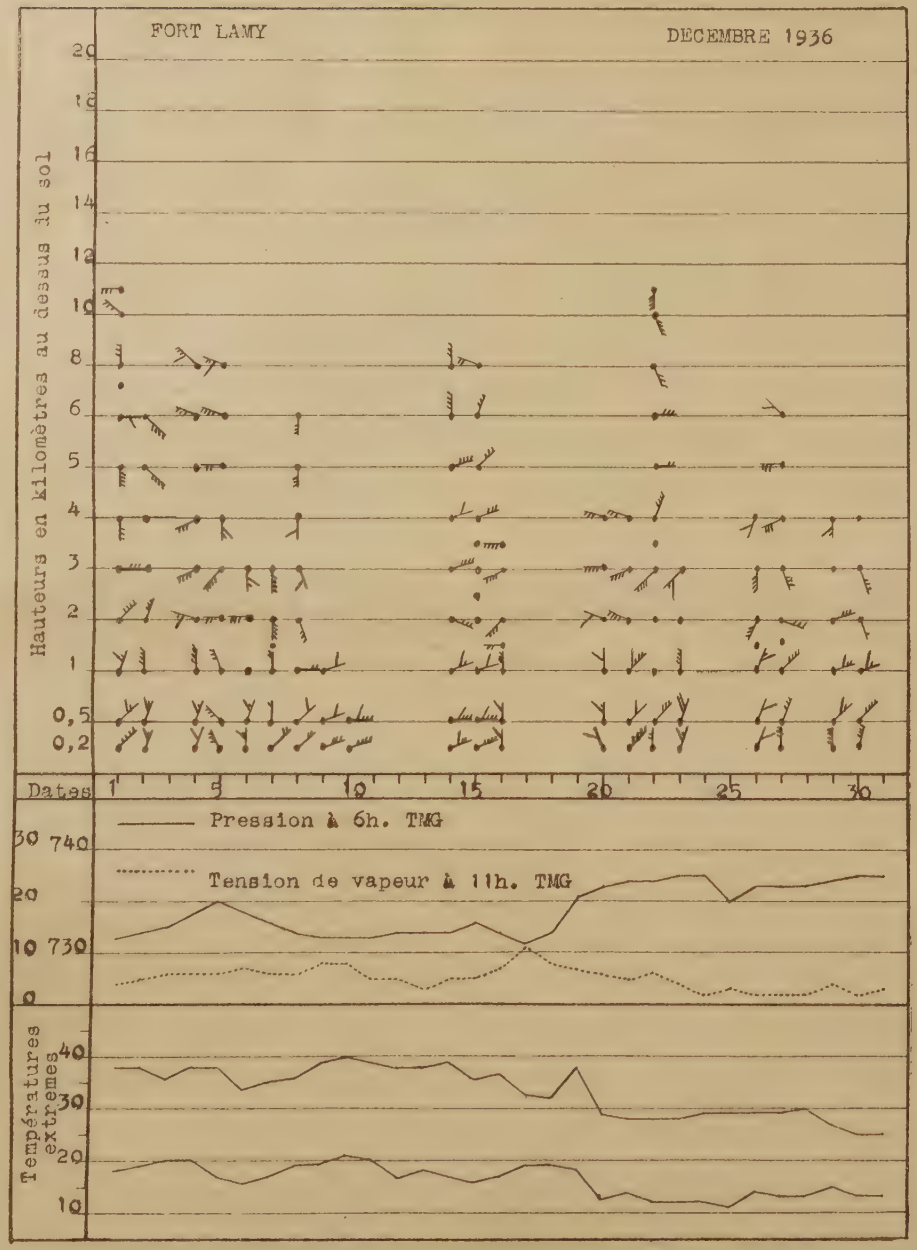

FORT LAMY
JUILLET 1936
Hauteurs en kilomètres au dessus du sol
20
18
16
14
12
10
8
6
5
4
3
2
1
0,5
0,2
Dates
1
5
10
15
20
25
30
30 740
20
10 730
0
TEMPERATURES extremes
40
30
20
10

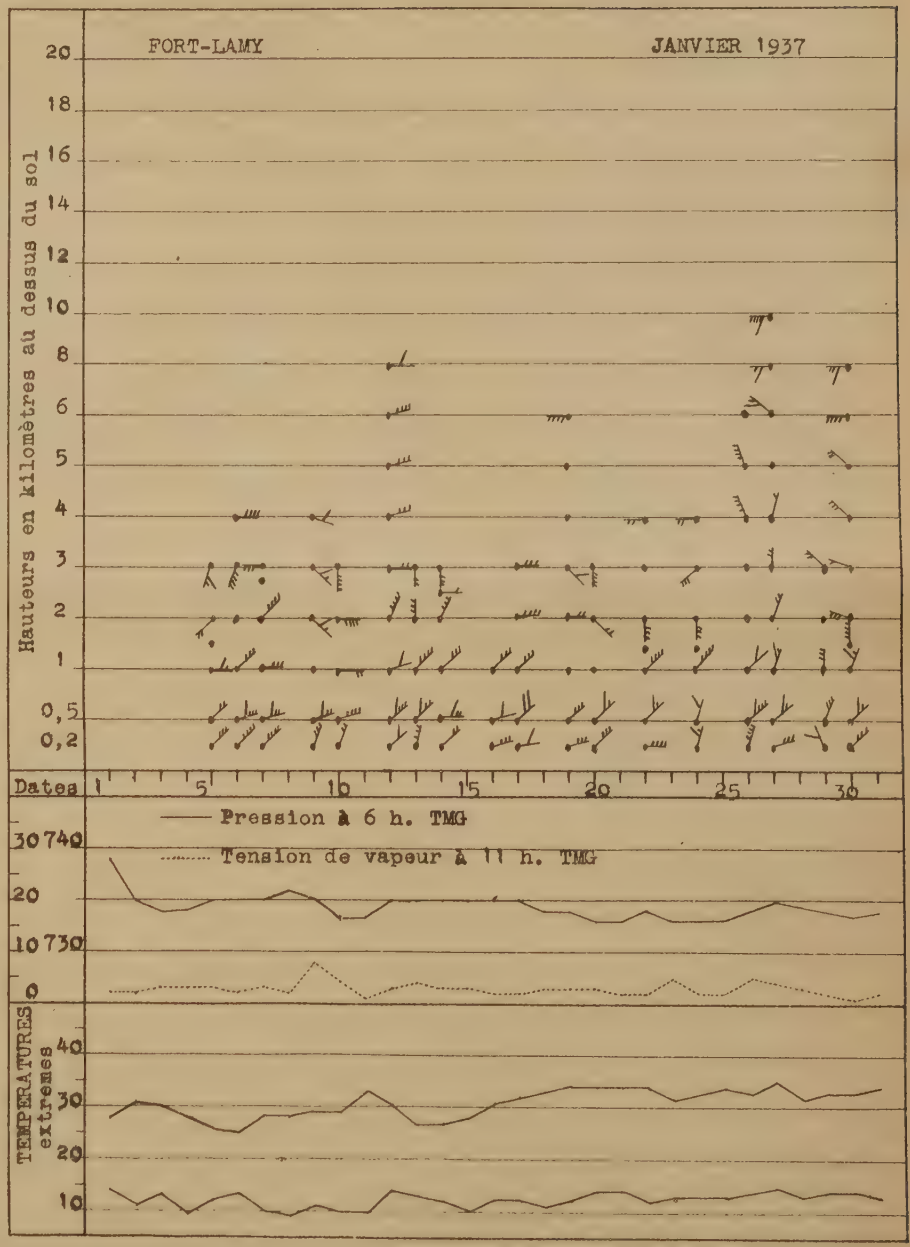

FORT LAMY
AOUT 1936
Hauteurs en kilomètres au-dessus du sol
20
18
16
14
12
10
8
6
5
4
3
2
1
0,5
0,2
Pénétrie Gu
Dates
1
5
10
15
20
25
30
Pression à 6 h. TMG
Tension de vapeur à 11 h. TMG
30 740
20
10 730
0
TEMPERATURES extremes
40
30
20
10

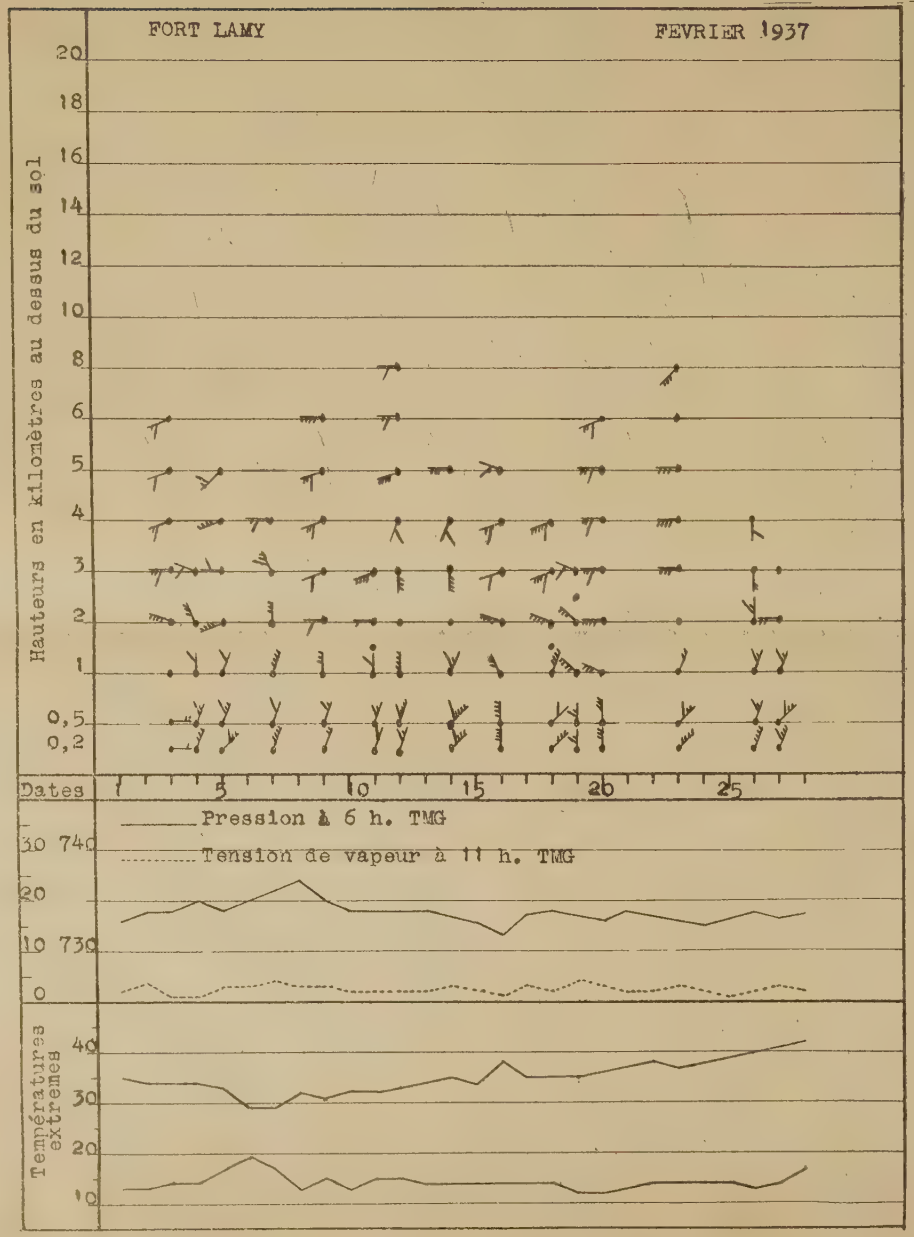

FORT-LAMY
SEPTEMBRE 1936
Hauteurs en kilomètres au dessus du sol
20
18
16
14
13
10
8
6
5
4
3
2
1
0,5
0,2
Dates
1
5
10
15
20
25
30
Pression à 6 h. TMG
Tension de vapeur à 11 h. TMG
30 740
20
10 730
0
TEMPERATURES extremes
40
30
20
10

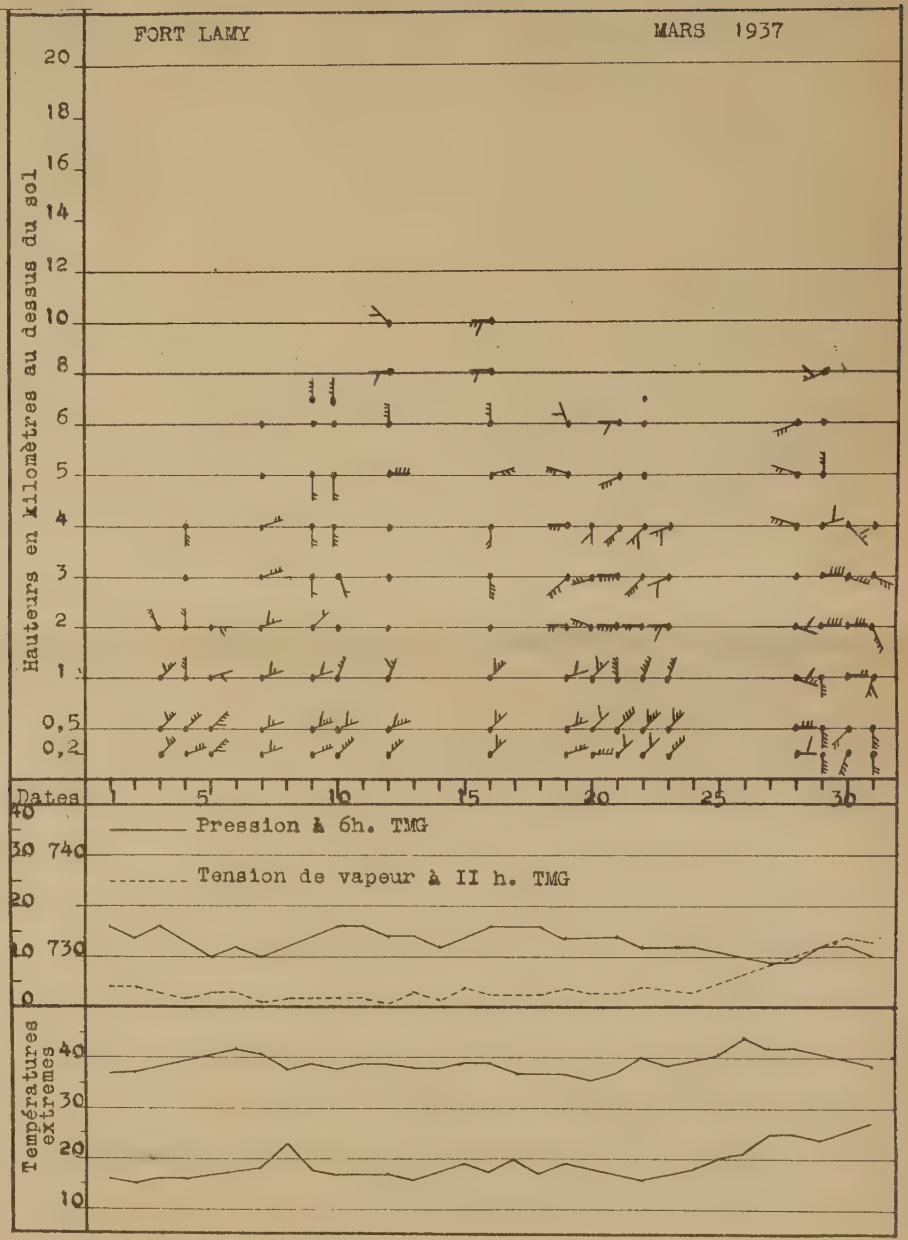

FORT-LAMY
OCTOBRE 1936
Hauteurs en kilomètres au-dessus du sol
20
18
16
14
12
10
8
6
5
4
3
2
1
0,5
0,2
Dates
1
5
10
15
20
25
30
Pression à 6 h. TMG
Tension de vapeur à 11 h. TMG
30 740
20
10 730
0
TEMPERATURES extrêmes
40
30
20
10


FORT-LAMY
NOVEMBRE 1936
Hauteurs en kilomètres au-dessus du sol
20
18
16
14
12
10
8
6
5
4
3
2
1
0,5
0,2
Dates
1
5
10
15
20
25
30
Pression à 6 h. TMG
Tension de vapeur à 11h. TMG
30 740
20
10 730
0
TEMPERATURES extrêmes
40
30
20
10

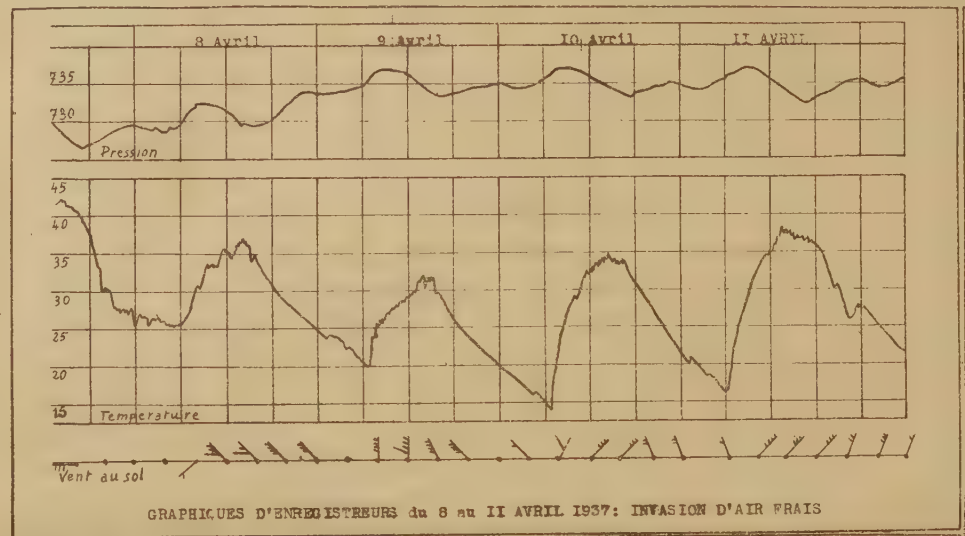

FORT LAMY
DECEMBRE 1936
Hauteurs en kilomètres au dessus du sol
20
18
16
14
12
10
8
6
5
4
3
2
1
0,5
0,2
Dates
1
5
10
15
20
25
30
Pression à 6h. TMG
Tension de vapeur à 11h. TMG
30 740
20
10 730
0
Températures extrêmes
40
30
20
10


FORT-LAMY
JANVIER 1937
Hauteurs en kilomètres au dessus du sol
20
18
16
14
12
10
8
6
5
4
3
2
1
0,5
0,2
Dates
1
5
10
15
20
25
30
Pression à 6 h. TMG
Tension de vapeur à 11 h. TMG
30 740
20
10 730
0
TEMPERATURES extrêmes
40
30
20
10

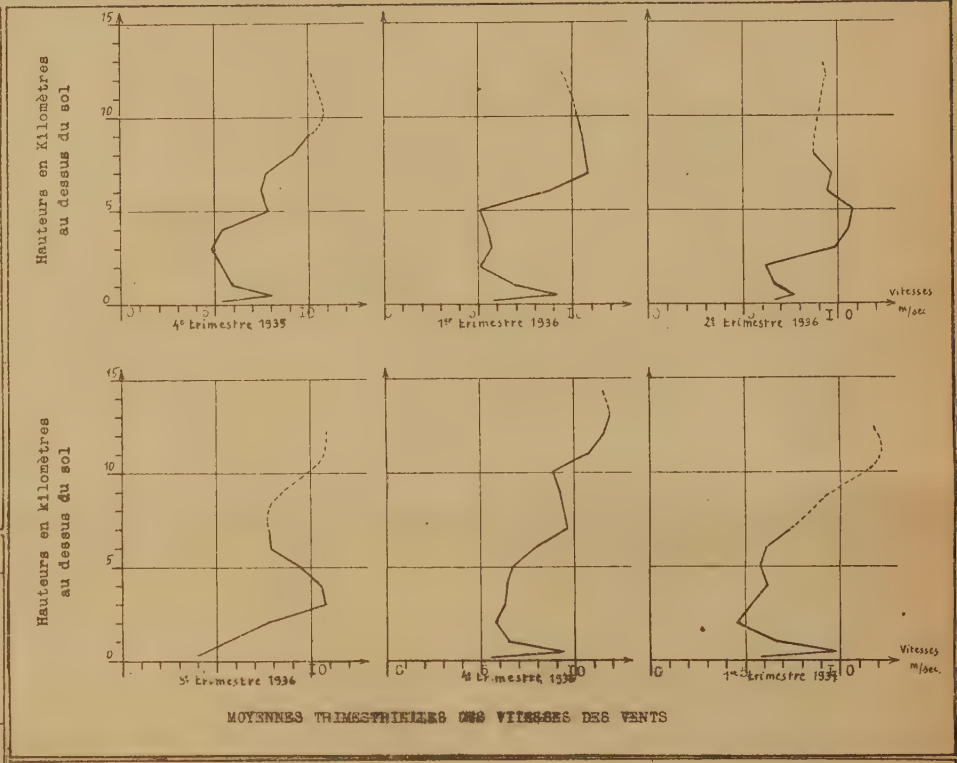

FORT LAMY
FEVRIER 1937
Hauteurs en kilomètres au dessus du sol
20
18
16
14
12
10
8
6
5
4
3
2
1
0,5
0,2
Dates
1
5
10
15
20
25
Pression à 6 h. TMG
Tension de vapeur à 11 h. TMG
30 740
20
10 730
0
Températures extrêmes
40
30
20
10


FORT LAMY
MARS 1937
Hauteurs en kilomètres au dessus du sol
20
18
16
14
12
10
8
6
5
4
3
2
1
0,5
0,2
Dates
1
5
10
15
20
25
30
40
30 740
20
10 730
0
Pression à 6h. TMG
Tension de vapeur à II h. TMG
Températures extrêmes
40
30
20
10

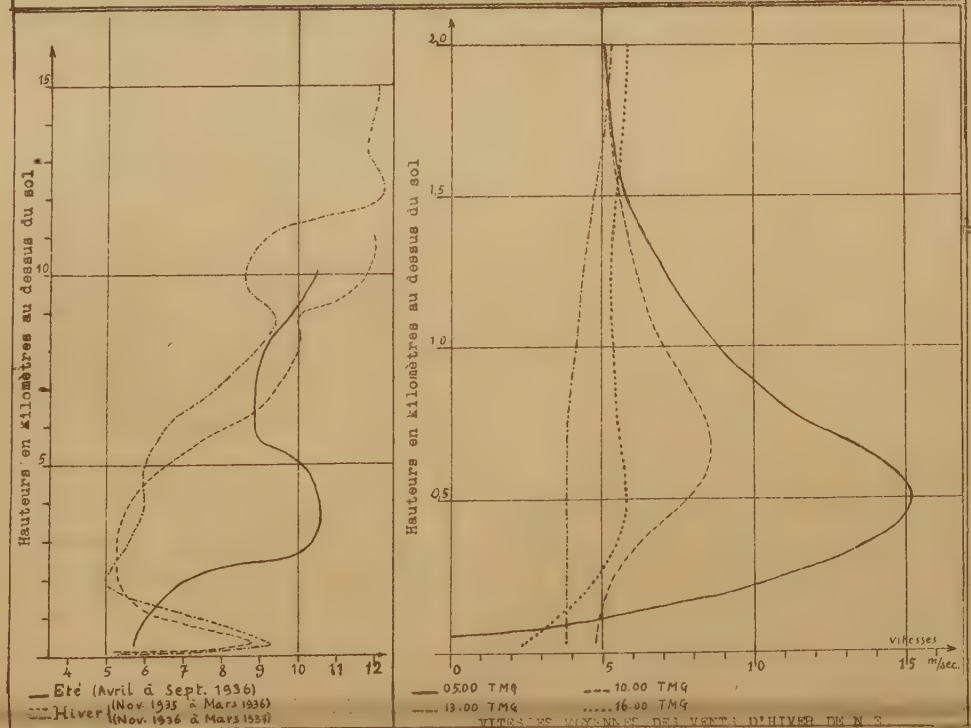
Variations du plafond de la mousson à Fort-Lamy (saison d'été 1936)



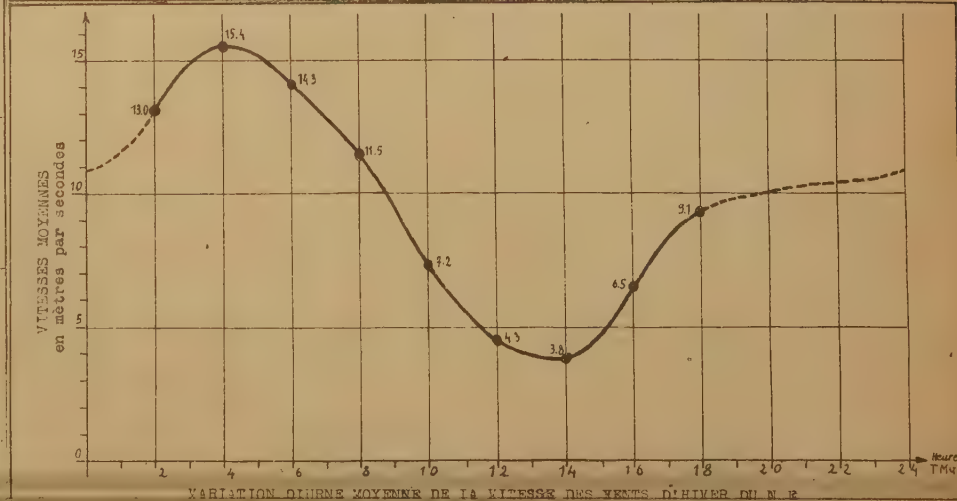
GRAPHIQUES D'ENREGISTREURS du 8 au 11 AVRIL 1937: INVASION D'AIR FRAIS



MOYENNES TRIMESTRIELLES DES VITESSES DES VENTS



VITESSES MOYENNES DES VENTS D'HIVER DE N.E.



VARIATION DIURNE MOYENNE DE LA VITESSE DES VENTS D'HIVER DU N.E.

elle ne se produit que lorsque le vent moyen est faible, et, enfin, elle n'a pas été signalée dans les stations telles qu'Ati ou Abecher, situées sous des latitudes voisines. Nous pensons donc qu'il s'agit d'un phénomène local dont il convient d'attribuer la cause au voisinage du réseau hydrographique Chari-Logone-Tchad, et qui pourrait être qualifié de « brise de lac ». La direction de cette brise est grossièrement opposée à celle des vents de Nord-Est, ce qui explique l'heure tardive à laquelle se manifeste le phénomène et le peu d'ampleur qu'il revêt généralement.

L'évolution diurne des vitesses au sol, est, par contre, un phénomène d'ordre très général. L'enregistrement n'ayant pu en être assuré à Fort-Lamy que depuis mars 1937, nous nous abstiendrons pour l'instant de présenter des courbes moyennes de cette évolution. Rappelons seulement qu'au cours de la nuit, le vent est généralement calme ; après 7 h. 30, sa vitesse s'accroît progressivement pour atteindre une pointe de 5 à 10 m./sec. vers 10 heures, décroître ensuite et atteindre un palier de 2 à 5 m./sec. entre 12 heures et 17 heures ; ensuite, retour progressif au calme. Il faut remarquer l'analogie étroite de ce schéma avec les courbes des fréquences horaires des débuts de vents de sable (1).

Passages d'alizés. — Nous avons indiqué que le groupe des vents d'hiver de Nord-Est paraît être de même nature, en général, que le vent appelé harmattan en d'autres régions africaines. Ce nom d'harmattan leur est d'ailleurs donné par certaines populations du Tchad et du Nord-Cameroun.

Toutefois, nous avons eu l'occasion d'observer quelques invasions d'air plus frais et moins sec que nous pensions pouvoir identifier aux alizés, ou qui semblaient même, dans certains cas, avoir une origine encore plus septentrionale.

Cependant, les caractères enregistrés manquaient de netteté (en particulier, le baromètre réagissait rarement de façon sensible), et, d'autre part, nous ne disposions pas des documents qui auraient pu nous permettre de rattacher cette situation à celle des fronts des régions tempérées.

Or, les 8 et 9 avril 1937, nous avons noté à Fort-Lamy un passage de ce genre particulièrement net, qui semble confirmer notre interprétation dans ce cas particulier (voir tableau des observations et graphiques du 7 au 11 avril).

Après une brève invasion de mousson le 7 avril, succédant à l'harmattan, Fort-Lamy a subi le 8 avril un vent de sable assez fort de Nord-Ouest, accompagné d'un rafraîchissement notable de la température et d'une hausse de pression. Le 9 avril, le vent de sable réapparaît avec la direction Nord, et les caractères de température et pression s'accentuent de façon exceptionnelle. Les 10 et 11 avril, le vent, de moins en moins violent, passe au Nord-Est, cependant que température et pression reprenent progressivement leur valeur normale.

Cette situation remarquable, correspondait à la présence d'un puissant anticyclone sur l'Europe centrale, et nous pensons que celui-ci peut être à l'origine de l'invasion d'air frais observée sur le Sahara oriental.

Des études ultérieures, facilitées par la mise en service récente d'appareils enregistreurs du vent au sol, permettront sans doute de mieux préciser le mécanisme de telles invasions.

Distribution des vitesses moyennes

Malgré les inconvénients inhérents à de telles méthodes, nous avons cru utile de calculer un certain nombre de moyennes de vitesses à différents niveaux. Ces opérations ont été directement effectuées sur les chiffres consignés dans les carnets de sondages ; elles ont porté sur 376 sondages, choisis de telle façon que leur répartition dans le temps soit aussi régulière que possible ; d'autre part, nous avons recherché, et éliminé de nos calculs, toutes les mesures paraissant entachées d'erreurs importantes en raison de variations accidentelles de la vitesse ascensionnelle des ballons.

Dans l'ensemble, les résultats montrent que la vitesse moyenne est grossièrement croissante du sol jusqu'à 10.000 ou 12.000 mètres ; au-delà et jusque vers 15.000 mètres (niveau auquel nous avons dû limiter nos calculs) la vitesse reste sensiblement constante et de l'ordre de 11 à 12 mètres-seconde.

Toutefois, les moyennes établies par trimestres ou par périodes saisonnières s'écartent assez sensiblement de ce schéma général.

Moyennes trimestrielles. — On retrouve, dans ces courbes, le balancement saisonnier de la zone maximale des vitesses, déjà mis en évidence par M. H. Hubert sur les graphiques de Dakar. Il semble d'autre part que les caractères principaux de ces courbes soient sous la dépendance de la saison (2e et 3e trimestre correspondant grossièrement à la saison des pluies, 1er et 4e trimestre à la saison sèche).

(1) Voir *Annales de Physique du Globe de la France d'Outre-Mer*, N° 17 (Octobre 1936) et N° 21 (juin 1937).

Nous avons donc cherché à établir des moyennes saisonnières, ne comprenant que des sondages exécutés au cours des saisons sèches ou humides, en éliminant les cas correspondant aux périodes de transition.

Moyennes saisonnières. — Les courbes ainsi obtenues ont des caractères bien spécifiques :

En régime d'été (saison des pluies), les vitesses moyennes les plus faibles sont notées entre le sol et 2.000 mètres, ce qui correspond à la zone d'extension moyenne de la mousson ; un important maximum relatif se manifeste entre 3.000 et 5.000 mètres, niveau qui correspond le plus souvent à la base de l'harmattan ; minimum relatif vers 7.000 mètres, suivi d'un nouvel accroissement. La courbe a dû être limitée à 10.000 mètres en raison du nombre insuffisant des sondages ayant pu dépasser cette altitude.

En régime d'hiver (saison sèche), les courbes présentent trois maxima de vitesse : le premier, vers 500 mètres, se présente sous forme d'une pointe très aiguë, et correspond à la partie inférieure de l'harmattan (il est à rapprocher du maximum 3.000/5.000 mètres de la courbe du régime d'été). Le second qui s'inscrit vers 8.000/9.000 mètres, semblerait correspondre à la zone d'extension la plus fréquente du contre-alizé. Le dernier maximum enfin, vers 10.000/12.000 mètres, est suivi d'une portion de courbe sensiblement verticale (vitesse constante voisine de 12 mètres-seconde) ; cette dernière partie de la courbe semble correspondre à la base du courant supérieur d'Ouest.

En 1936-37, les deux derniers maxima se sont manifestés à une altitude un peu plus élevée qu'en 1935-36.

Enfin, constatons que les courbes de régime d'été et de régime d'hiver ont des formes assez sensiblement complémentaire, de sorte que dans une courbe de moyennes annuelles les principaux accidents se trouveraient compensés pour ne laisser place qu'à un accroissement assez régulier en fonction de l'altitude, jusqu'au niveau 10.000/12.000 mètres.

Distribution des vitesses dans l'harmattan au voisinage du sol, en régime d'hiver. — L'existence de la pointe très caractéristique présentée vers 500 mètres par la courbe des vitesses en régime d'hiver nous a conduit à étudier en détail la distribution des vitesses dans l'harmattan, entre le sol et 2.000 mètres. Pour mettre en évidence le rôle de l'évolution diurne, nous avons cherché à établir quatre courbes de vitesses moyennes (1) pour chacune des heures suivantes : 5 heures TMG, 10 heures TMG, 13 h. 30 TMG, et 16 heures TMG.

La superposition de ces courbes montre qu'il n'existe pas d'évolution diurne très sensible à 1.500 et 2.000 mètres ; par contre, le niveau de 500 mètres est particulièrement remarquable à cet égard.

Les plus intéressantes de ces courbes sont celles de 5 heures et de 13 h. 30 TMG.

Celles de 5 heures présente à 500 mètres un très important maximum, au-dessus duquel la vitesse décroit rapidement avec l'altitude. Rappelons qu'à cette même heure le vent au sol est généralement calme ou très faible, et que les conditions aérologiques sont alors les suivantes : minimum de la température au sol (sous abri) ; inversion de température pouvant atteindre + 12° cent. entre le sol et 800 mètres ; température rapidement décroissante avec l'altitude au-delà de 1.000 mètres.

La courbe de 13 h. 30 TMG se caractérise par sa régularité : vitesse modérée et constante entre le sol et 1.000 mètres, faiblement croissante au-dessus ; les conditions aérologiques sont alors : maximum de température au sol, et forte instabilité donnant naissance à de nombreux tourbillons.

Les courbes de 10 heures et de 16 heures TMG semblent représenter des phases intermédiaires entre ces deux situations extrêmes.

Evolution diurne de la vitesse de l'harmattan à 500 mètres. — Les courbes précédentes faisant ressortir au niveau de 500 mètres une évolution diurne particulièrement remarquable de l'harmattan, nous avons cherché à en préciser les modalités en calculant les vitesses moyennes de 2 heures en 2 heures à ce niveau ; chaque valeur obtenue est la moyenne de toutes les mesures effectuées dans l'heure qui précède et dans l'heure qui suit le temps considéré ; la courbe a pu être calculée de 2 heures TMG à 18 heures TMG, et complétée par interpolation graphique (partie pointillée).

Cette courbe, sur laquelle nous retrouvons le maximum (vers 4 h. 30) et le minimum (vers 13 h. 30), que nous connaissons déjà, a l'aspect caractéristique d'une superposition de deux variations sinusoidales à périodes diurne et semi-diurne. Remarquons, que pour d'autres niveaux que celui

(1) Chacune d'elles est calculée par points à l'aide des mesures effectuées 1 h. 30 avant et 1 h. 30 après l'heure choisie, sauf celle de 16 heures pour laquelle nous aurions disposé d'un nombre de sondages insuffisants, et que nous avons établie à l'aide des mesures effectuées entre 14 h. et 19 h.

qui a été envisagé, les courbes resteraient probablement de même nature, mais leurs composantes ne conserveraient ni la même amplitude, ni la même phase. En particulier, au niveau 100 mètres, la variation diurne totale est très faible, comme le montre l'examen des courbes de distribution des vitesses entre 0 et 2.000 mètres. Au voisinage du sol, l'allure de l'évolution devient, nous l'avons vu, toute différente, puisqu'à 4 heures TMG le vent est généralement calme pour n'atteindre son maximum que vers 10 heures.

En ce qui concerne les prévisions pour l'aviation, la connaissance de l'évolution moyenne des vitesses est susceptible, croyons-nous, de rendre des services immédiats, et il serait souhaitable pour celà que des mesures effectuées en d'autres stations complètent nos calculs. En particulier, il serait utile de pouvoir indiquer aux pilotes qu'au cas où, en régime d'harmattan, ils auraient à prendre un départ matinal sans avoir été couverts par une protection météorologique, ils courent le risque, même par vent calme au sol, de rencontrer vers 500/800 mètres des courants susceptibles de provoquer, par exemple, de graves erreurs de navigation ; ce sont des considérations importantes en pays désertiques, notamment pour l'aviation sanitaire.

J. GOUAULT,
Ingénieur-Météorologiste des colonies
Fort-Lamy (A. E. F.).

La mer et les sables sur le littoral de l'A. E. F.

I. — LES COURANTS

On trouve sur le littoral africain entre l'embouchure du Congo et le Cap Lopez un courant général très net dirigé vers le Nord-Ouest ou le Nord-Nord-Ouest et dont la vitesse constante est approximativement de deux nœuds. Ce courant marin est d'ailleurs accentué par celui du Congo qui conflue avec lui au large de la pointe Moita Secca, extrémité de la rive Sud du fleuve. Les deux courants réunis opèrent leur jonction avec le courant équatorial au large du Cap Lopez.

En général, le courant Sud-Nord est plus rapide au voisinage des côtes qu'au large, mais la vitesse le long du rivage est essentiellement variable, l'action des vents devenant prédominante en « forçant » une houle de faible profondeur. La direction elle-même est influencée au contact des côtes par l'orientation du rivage ; lorsque le vent souffle ensuite du secteur Nord, ce qui est rare, on peut même observer parfois des renversements de courants, ce qui prouve bien l'importance du vent sur des lames d'eau relativement peu profondes.

Quant au courant du Congo il ne paraît pas probable que son action soit sensible au voisinage des côtes ; mais au large on le ressent très nettement et jusqu'à des distances considérables (300 milles) ; d'ailleurs la coloration jaune et l'aspect boueux que ses eaux donnent à la mer, de même que la relation étroite qui existe entre le débit du fleuve et la force du courant, montrent assez sa présence et son action.

Mais cette action, nette au large, est nulle près des côtes ; elle ne semble pas apporter de modifications aux courants littoraux, même à plusieurs milles de terre.

II. — LES MARÉES

Par suite de l'absence de baie importante pouvant créer des aires oscillantes, les marées présentent des amplitudes très petites au voisinage du 5° lat. S. Les différences sont aussi faibles entre marées de mortes ou de vives eaux qu'entre haute et basse mer ; elles sont en moyenne de l'ordre du mètre.

Toutefois, les marégrammes obtenus, d'allure sinusoïdale, accusent un jusant nettement plus rapide que le flot, mais les très faibles valeurs absolues de ces éléments paraissent *a priori* incapables d'être mises à profit pour créer un courant de chasse même avec un bassin de grande étendue ; l'étanchéité relative des enrochements et la capillarité des terrains devant, pour de très faibles vitesses de descente, ôter une grande partie de la puissance d'un courant de jusant, même limité par une passe étroite.

Seule est donc à considérer l'action du courant Sud-Nord longeant de très près les côtes et contri-

buant à entraîner le long du rivage des masses d'eau contenant de nombreux matériaux en suspension. Le cheminement des sables dû à la houle seule est ainsi considérablement accru, non seulement dans la première zone proche du rivage, mais encore dans toute l'étendue des fonds où l'agitation est suffisante pour entraîner le sable. La vitesse d'engraissement d'une digue, même avancée, en sera nettement augmentée.

Quant aux valeurs absolues des vitesses, différentes études faites en 1910 et 1932 ont donné des ordres de grandeur comparables :

De septembre à octobre 1910 : direction : Nord 22-Est. Vitesse : 0 nœud 3.

De décembre 1910 à janvier 1911 : direction : Nord 30-Est. Vitesse : 0 nœud 5.

Les courants de profondeur ont donné, à des fonds de 15 mètres, comme valeurs moyennes : direction Nord-27-Est. Vitesse 0 nœud 14.

Ils ont donc la même direction que les courants de surface, mais une vitesse à peu près trois fois plus faible.

Les mesures de 1932 ont donné des résultats à peu près semblables :

Les vitesses moyennes, en surface et pour différentes profondeurs, furent les suivantes :

1 km/h environ en surface
0,865 km/h à 2 m. de profondeur
0,728 km/h à 4 m. de profondeur
0,592 km/h à 6 m. de profondeur
0,507 km/h à 8 m. de profondeur

Les directions, relevées également avec précision, ont montré un courant strictement parallèle à la côte Sud, avant la pointe ; après le cap, le courant se développait en éventail entre Nord-40° Ouest et Nord-40° Est, continuant pour une partie, à suivre la direction qu'il avait le long de la côte Sud, mais, pour l'autre partie, entrant dans la baie de Pointe-Noire et se dirigeant à peu près vers l'embouchure de la Songolo.

III. — La houle

Au voisinage du 5e parallèle, la houle se fait sentir sur la côte pendant la plus grande partie de l'année, les journées de calme absolu sont réellement exceptionnelles.

En saison sèche, la mer, toujours houleuse, atteint des creux de 3, 4 mètres au grand maximum, la moyenne étant de 2 mètres. La saison des pluies amène des creux dépassant rarement 1 m. ou 1 m. 50.

La longueur d'onde, pour des fonds moyens d'une quinzaine de mètres, oscille entre 100 et 120 mètres, la période atteignant le plus souvent une douzaine de secondes.

A Pointe Noire le front de houle attaque la côte sud sous une incidence d'une dizaine de degrés ; perturbée par la pointe, elle pivote et, après une zone troublée de près de 1.000 mètres de rayon, s'aligne sur les courbes de fonds pour attaquer la baie parallèlement au rivage.

Au large de la zone troublée, la houle conserve la direction habituelle.

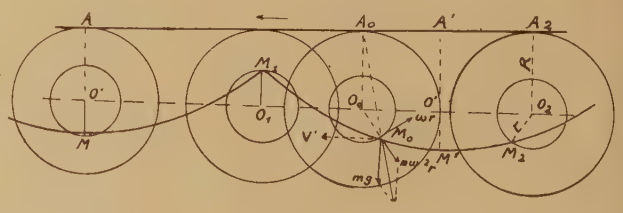
Jusqu'ici, houle et courant réunis ont provoqué des changements incessants dans le profil du rivage. C'est ainsi, par exemple, que la pointe de Loango, à 15 kilomètres au Nord de Pointe-Noire est le théâtre de mouvements extrêmement importants : en l'espace de 3 à 4 mois, des superficies de 2 à 3 hectares disparaissant ou se surajoutent aux côtes suivant les saisons.

IV. — Le cheminement des sables marins sous l'action de la houle

Il est mathématiquement très difficile, pour ne pas dire impossible, de traiter la question en tenant compte de toutes les données physiques : viscosité de l'eau, frottement contre le fond, effet des particules de sable en suspension, modifications apportées par les champs de pressions de l'atmosphère et les rafales de vent.

Néanmoins on peut considérer le problème avec les hypothèses simplifiées de la houle en profondeur infinie, question classique d'hydrodynamique.

Avec les notations habituelles (cf. figure ci-contre) chaque particule décrit un cercle de rayon r :



$$r = r_0 e^{-\frac{\omega h}{V}} = r_0 e^{-\frac{2\pi h}{\lambda}} = r_0 e^{-\frac{h}{R}}$$

R étant le rayon du cercle générateur.

Et entre les éléments λ, longueur d'onde de la houle, V vitesse de la propagation et ω période du phénomène on a les relations bien connues :

$$T = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}} \qquad \lambda = \frac{T^2 g}{2\pi} \qquad V = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$$

où T désigne la période du phénomène.

Avec les hypothèses simplicatrices adoptées pour la houle en profondeur infinie (houle de Gerstner) chaque particule décrit une courbe fermée (un cercle) ; sa position moyenne est invariable, sauf en cas de « houle forcée », lorsqu'un courant superficiel, créé par le vent, déplace en bloc les molécules de la surface ; d'ailleurs, dans ce cas, les équations, déjà simplifiées à l'extrême, répondent encore moins au phénomène.

Mais de toute façon il est impossible de démontrer, en partant de la houle de Gerstner, qu'il y a transport des molécules liquides — donc des matériaux qui pourraient exister en suspension — suivant la direction de propagation.

Or, étant donné l'incidence de la houle sur la côte du Moyen-Congo, tout déplacement suivant la direction de propagation de la houle a une composante Nord importante, et celle-ci, en raison des quantités de sable en suspension dans les eaux déferlantes, suffirait à expliquer une bonne part du cheminement des sables et de ses conséquences : engraissement des jetées et pointes, au vent, creusement sous le vent.

En faisant toujours abstraction des conditions physiques énumérées plus haut, mais en traitant le problème pour une eau de profondeur finie, on peut écrire, pour une houle irrotationnelle, (potentiel des vitesses) en désignant par H la profondeur de l'eau, Ox la direction de propagation, u, w, les vitesses suivant oz et Ox (le phénomène étant cylindrique la coordonnée Y n'a pas à intervenir) :

$$u = \frac{\delta\varphi}{\delta x} \qquad w = \frac{\delta\varphi}{\delta z}$$

φ devant satisfaire à

$$\frac{\delta^2\varphi}{\delta x^2} + \frac{\delta^2\varphi}{\delta z^2} = \frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta w}{\delta z} = 0 \qquad (1)$$

(équation d'incompressibilité),
en prenant comme solution la partie imaginaire d'une fonction de la forme

$$\Phi = K\, e^{(z+ix)}$$

on arrive à une fonction φ :

$$\varphi = 2\, R_0\, n\, \lambda \left[\cos h\, (2\pi z + H) : \cos h \left(\frac{2\pi H}{\lambda}\right)\right] \times \sin 2\pi \left(n t - \frac{x}{\lambda}\right) \qquad (2)$$

$w = \frac{\delta\varphi}{\delta z} = 0$ pour $z = -H$ (le fond) car on a alors un $\sin h$ s'annulant avec $z + H$.

La pression atmosphérique étant supposée invariable, donne pour la surface libre, en négligeant le carré des vitesses, relativement petites, la condition de Poisson :

$$\frac{\delta\varphi}{\delta t} + g z = c^{te} \quad \text{ou} \quad \frac{\delta^2\varphi}{\delta t^2} + g\frac{\delta z}{\delta t} = 0$$

et en confondant $w = \frac{\delta\varphi}{\delta z}$ vitesse en un point fixe avec celle d'une particule proche de ce point :

$$w = \frac{\delta\varphi}{\delta z} = \frac{\delta z}{\delta t}$$

d'où la condition :

$$\frac{\delta^2\varphi}{\delta t^2} + g\frac{\delta\varphi}{\delta z} = 0 \qquad (3)$$

(2) et (3) donnent les éléments :

$$n = \frac{1}{T} = \sqrt{\frac{g}{2\pi\lambda}\, th \frac{(2\pi H)}{\lambda}}$$

$$V = n\lambda = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}\, th \frac{(2\pi H)}{\lambda}}$$

formules où intervient l'épaisseur H de la couche liquide.

On voit ainsi qu'en eau peu profonde la vitesse est notablement réduite ; si la profondeur n'est, par exemple, que le dixième de la longueur d'onde λ, la vitesse de propagation n'est que les 3/4 de celle en eau profonde.

Pour obtenir le mouvement des particules, appelons ξ et ζ les coordonnées d'une particule de coordonnées moyennes x, z, et dont les vitesses sont précisément u, w. On pose alors :

$$\frac{d\xi}{dt} = \frac{\delta\varphi}{\delta x} = u \qquad \frac{d\zeta}{dt} = \frac{\delta\varphi}{\delta z} = w \qquad (4)$$

x et z étant considérées comme des constantes dans les intégrations.

En tirant de (2) les $\frac{\delta\varphi}{\delta x}$, $\frac{\delta\varphi}{\delta z}$ et en égalant à (4), il vient après intégration :

$$\xi - x = R_0 \left[\cos h \left(2\pi \frac{z+H}{\lambda}\right) : \cos h \left(\frac{2\pi H}{\lambda}\right)\right] \times \sin 2\pi \left(n t - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$\zeta - z = R_0 \left[sin\ h \left(2\pi \frac{z+H}{\lambda}\right) : cos\ h \left(\frac{2\pi\ H}{\lambda}\right)\right] \times cos\ 2\pi \left(n\,t - \frac{x}{\lambda}\right)$$

en divisant respectivement par les premières lignes hyperboliques, en élevant au carré et additionnant membre à membre on voit que chaque particule décrit une éllipse :

$$\frac{(\xi - x)^2}{cos - h^2 \left(2\pi \frac{z+H}{\lambda}\right)} + \frac{(\zeta - z)^2}{sin\ h^2 \left(2\pi \frac{z+H}{\lambda}\right)} = \frac{R_0^2}{cos\ h^2 \left(\frac{2\pi\ H}{\lambda}\right)}$$

où le rapport $\frac{b}{a}$ des demi-axes est :

$$\frac{b}{a} = tg\ h \left(2\pi \frac{z+H}{\lambda}\right)$$

au fond $Z = -H \frac{b}{a}$ est nul ; autrement dit, abstraction faite du frottement, la molécule décrit alternativement un petit segment de droite : le grand axe $2\ a$ de l'ellipse.

Dans la houle de Gerstner les molécules du fond (profondeur théoriquement infinie) décrivaient des cercles de rayon infiniment petit.

Mais la courbe décrite par une molécule (ellipse avec l'approximation adoptée ici) n'est pas fermée, il existe un mouvement général suivant la direction de propagation, et ce, théoriquement, même en l'absence de tout vent ou courant ; il s'en suit donc que les molécules du fond décrivant des segments de droite ou des ellipses très aplaties pourront cheminer effectivement suivant la direction de propagation, entraînant avec elles des matériaux solides en suspension (sable).

Etant donné l'incidence de la houle sur la côte du Moyen-Congo, un cheminement Nord des sables, dû à la composante Nord du mouvement des particules, doit forcément exister et être une des causes et non des moindres du cheminement littoral.

En fait, ce cheminement des molécules suivant la direction de propagation de la houle (à ne pas confondre avec la houle forcée) est une fonction de la profondeur et décroit théoriquement avec elle. Néanmoins il se fait sentir suffisamment pour amener un déplacement séculaire des molécules même peu éloignées du fond et ce, dans une zone où des matériaux solides en suspension sont toujours abondants.

En prenant comme fonction φ satisfaisant aux équations (1), le second membre complet, de la forme $e^{-m\Xi}$ facteur d'une ligne trigonométrique :

$$\varphi = -K e^{-m\Xi} sin\ mx$$

on obtient finalement, après simplification, et pour des valeurs de $tgh\left(\frac{2\pi H}{\lambda}\right)$ sensiblement égales à 1, (ce qui ne correspond qu'à $\frac{H}{\lambda} = 0{,}70$) :

$$\varphi = k \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}\ e^{-\frac{2\pi}{\lambda}\Xi} sin \frac{2\pi}{\lambda}\Xi$$

k représentant la hauteur de l'onde. On a, en première approximation, toujours eu égard à la valeur de $\frac{H}{\lambda}$ adoptée :

$$u = \frac{d\xi}{dt} = \frac{\delta\varphi}{\delta x} = -\frac{2\pi}{\lambda} k \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}\ e^{-\frac{2\pi}{\lambda}\Xi} \times \frac{cos\ \pi\ 2}{\lambda}\left(x - \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}\ t\right) \qquad (5)$$

$$w = \frac{d\zeta}{dt} = \frac{\delta\varphi}{\delta z} = \frac{2\pi}{\lambda} k \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}\ e^{-\frac{2\pi}{\lambda}\Xi} \times sin \frac{2\pi}{\lambda}\left(x - \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}\ t\right) \qquad (5)$$

d'où, trajectoires habituelles, circulaires (ellipses en introduisant H).

En première approximation, on a confondu la vitesse en un point avec celle d'une particule proche de ce point ; en deuxième approximation, la particule se déplace, la vitesse en chaque point restant la même ; on remplace alors x et Ξ, indépendants de t par $x + \xi$ et $\Xi + \zeta$, il vient :

$$\frac{d\xi}{dt} = -\frac{2\pi}{\lambda} k \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}\ e^{-\frac{2\pi}{\lambda}(\Xi+\zeta)} \times cos \frac{2\pi}{\lambda}\left(x + \xi - \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}\ t\right)$$

$$\frac{d\zeta}{dt} = \frac{2\pi}{\lambda} k \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}\ e^{-\frac{2\pi}{\lambda}(\Xi+\zeta)} \times sin \frac{2\pi}{\lambda}\left(x + \xi - \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}\ t\right)$$

ξ et ζ étant petits on a :

$$\frac{d\xi}{dt} = u + \frac{\delta u}{\delta x}\xi + \frac{\delta u}{\delta \Xi}\zeta$$

$$\frac{d\zeta}{dt} = w + \frac{\delta w}{\delta x}\xi + \frac{\delta w}{\delta \Xi}\zeta \qquad (6)$$

On arrive finalement aux expressions suivantes :

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{2\pi}{\lambda} w \qquad \frac{\partial w}{\partial x} = -\frac{2\pi}{\lambda} u$$

$$\frac{\partial u}{\partial \Xi} = -\frac{2\pi}{\lambda} u \qquad \frac{\partial w}{\partial \Xi} = -\frac{2\pi}{\lambda} w$$

$$\xi \sqrt{\frac{2\pi g}{\lambda}} = w \qquad \zeta \sqrt{\frac{2\pi g}{\lambda}} = -u$$

d'où pour $\frac{d\xi}{dt}$, en partant des relations (6)

$$\frac{d\xi}{dt} = u + \frac{2\pi}{\lambda} w\,\xi + \frac{2\pi}{\lambda} u\,\zeta, \qquad \frac{d\zeta}{dt} = w$$

$$\frac{d\xi}{dt} = u + \frac{u^2 + w^2}{\sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}}$$

$\frac{u^2+w^2}{\sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}}$ peut s'écrire d'après les premières égalités de (5)

$$k^2 \sqrt{g \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^3}\, e^{-\frac{4\pi\Xi}{\lambda}}. \qquad (7)$$

On voit que $\frac{d\xi}{dt}$, en dehors de la valeur u que l'on trouve en première approximation, comporte le terme séculaire (7), vitesse uniforme déplaçant les molécules dans le sens de la propagation et décroissant d'ailleurs avec Ξ. Son action est toutefois pratiquement sensible près du fond, dans la zone de plus grande teneur des matériaux en suspension, zone où la vitesse est sensiblement égale à celle de la surface (études de Bertin et Caligny).

La houle provoque donc bien un cheminement des sables suivant la direction de propagation.

Pratiquement cette action n'est évidemment sensible qu'à de faibles profondeurs, lorsque l'agitation sur les fonds est suffisante pour provoquer un brassage des sables et entraîner les matériaux en suspension.

Toute inclinaison de la houle par rapport au rivage amène donc un transport des sables parallèlement à la côte.

La composante normale au rivage ne peut engraisser la côte, puisque le profil de cette dernière ne dépend que la grosseur des éléments du sable. Les graviers les plus gros forment le sommet de la plage, le sable fin forme à son tour une bande, mais de pente moindre, et la vase, lorsqu'il y en a, se dépose avec des pentes très faibles à de grandes distances du rivage. Ce profil d'équilibre (conditionné par la nature des éléments) une fois atteint, les matériaux cheminant en longeant la côte, sans en modifier le profil lorsque le rivage rectiligne, ne présente pas d'accident.

Ce cheminement est surtout important pour la zone proche du rivage, comprise entre ce dernier et le point de déferlement des lames. L'agitation des eaux sur le fond favorise en effet la suspension des matériaux.

Pour une incidence de la houle de 60 à 70° le cheminement est maximum ; il est bien entendu nul pour une attaque normale au rivage, les incidences supérieures à 70° ne se produisant pas dans la pratique, par suite de la trop grande obliquité donnant une zone étendue et indécise à la profondeur limite de déferlement (en bassin le déferlement se produit toujours avant que le fond ait atteint les 3/4 de la hauteur de l'onde).

En passant il est à signaler que le seul fait de la variation de poussée subie par une particule en suspension participant au mouvement plus ou moins orbitaire des molécules est capable d'occasionner également un cheminement des sables.

Il est difficile de chiffrer pratiquement les matériaux ainsi transportés sous l'action des mouvements ondulatoires seuls. Dans la pratique des courants viennent agir sur le cheminement des sables ; il est même certain qu'ils en sont pour la plus grande part responsables. Mais il n'est pas moins vrai que sur la plage même, où les frottements annulent les courants, la somme indéfinie des déferlements occasionne un cheminement extrêmement important que le moindre accident de terrain met en peu de temps en relief.

L. Facy,

Ingénieur-Météorologiste des Colonies
Pointe-Noire (A. E. F.).

NOTES ET INFORMATIONS

Le Service Météorologique des Etablissements français de l'Océanie vient de marquer un nouveau stade de son organisation par la publication des observations météorologiques mensuelles et par la rédaction d'un bulletin séismique.

Un décret en date du 7 mai 1938 a réorganisé le personnel du Service Météorologique des Colonies.

Les cartes synoptiques établies par le Service Météorologique de l'A. O. F. s'étendent maintenant sur l'Atlantique Nord et Sud, ainsi que sur l'Amérique du Nord et l'Amérique du Sud.

Les groupes nomades de l'Aïr et de N'Guigmi apportent en permanence une importante contribution à la protection météorologique de l'aéronautique dans la colonie du Niger. Ils fournissent, en effet, par T. S. F., à la station principale de Zinder, les observations météorologiques qu'ils font, au cours de leurs déplacements, dans des régions dépourvues de toute installation sédentaire.

Le Service Météorologique de la Côte Française des Somalis vient d'être installé dans un bâtiment édifié en vue de son utilisation à la fois pratique et scientifique. On sait que ce service avait déjà entrepris des observations actinométriques en avion. Grâce à l'aide très précieuse que veut bien lui apporter le Capitaine Bilbault, Commandant de l'Air, des observations de température, pression et humidité en altitude ont pu également être commencées récemment.

La **Médaille coloniale**, avec agrafe « Côte Française des Somalis », a été décernée à M. Lapayre, Ingénieur-Météorologiste, Chef du Service Météorologique de la Côte française des Somalis.

Des photographies de la houle, à Tamatave, ont été prises en altitude par M. Martin de Viviès, Météorologiste de la Colonie, pilotant un avion de l'Aéro-club.

BIBLIOGRAPHIE

Sala (Guido). — **Il clima dell'Etiopia e confronti col clima dell'Eritea et della Somalia.** Un vol. 17×24 cm. de 141 p., 34 p. de graphiques hors-texte. Bergamo, 1938. Prix, 25 L.

Le regroupement, sous l'autorité italienne des stations météorologiques de l'Erythrée, de la Somalie et de l'Ethiopie a permis de constituer un réseau de 72 stations, dont 21 de 1re catégorie.

La présentation de données climatologiques de l'ensemble des régions considérées présente un intérêt d'autant plus grand que les conditions géographiques y sont très variées : il suffit de rappeler à ce sujet que certains sommets de l'Ethiopie dépassent 4.000 mètres.

L'ouvrage de M. Sala fournit une documentation abondante sur les précipitations, sur l'humidité relative et la tension de la vapeur d'eau, sur la température, les vents et la pression. Il est accompagné d'intéressants climogrammes. Les documents présentés fournissent une solide base de comparaisons avec les territoires africains de même latitude.

***

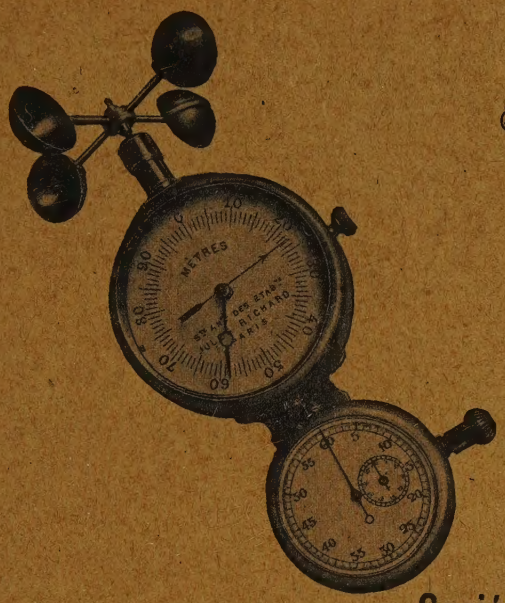
Maurain (Ch.). — **Etude pratique des rayonnements solaire, atmosphérique et terrestre. (Méthodes et résultats).** — Un vol. 17×25 cm. de 189 p., Paris, 1937.

Cet ouvrage est destiné à servir de guide pour les observateurs se proposant d'aborder l'étude de l'intensité du rayonnement solaire et des rayonnements connexes. Une telle étude intervient dans la thermodynamique de l'atmosphère, la climatologie, l'agronomie, la biogéographie, etc.

Les principaux chapitres de l'ouvrage se rapportent aux mesures de la durée d'insolation, de la radiation solaire directe, de la radiation globale, etc. ; — à la répartition de la radiation solaire, de la radiation globale, de la radiation terrestre ; — à la répartition spectrale de l'énergie dans la radiation solaire et la radiation globale ; — à l'intensité lumineuse de la radiation, etc., etc.

L'Éditeur Gérant : R. Pinardon.

Rochefort-sur-mer. — Imprimerie A. Thoyon-Thèze.



Société Anonyme des

Etablissements Jules RICHARD

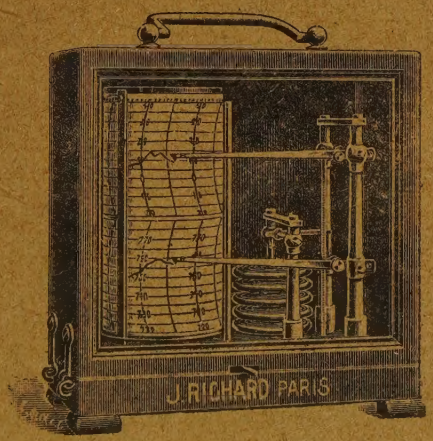
25, Rue Mélingue, PARIS (20e)

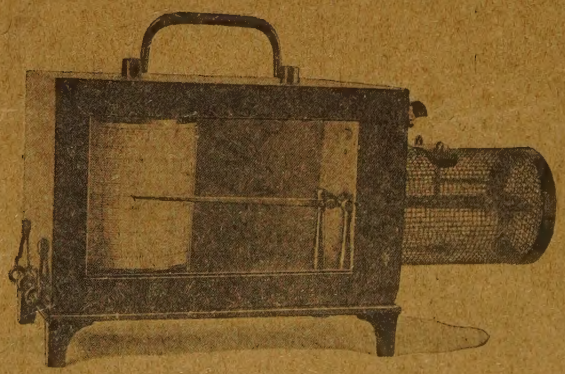
Tél. : Botzaris 88-80 — Tél. : Botzaris 88-80

INSTRUMENTS DE PRÉCISION

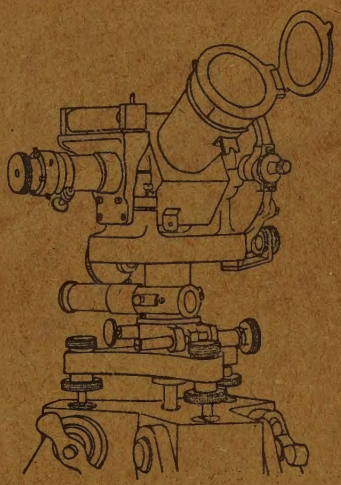
de Mesure et de Contrôle

pour les Sciences et l'Industrie





A. BERTHELEMY - LORIEUX - PONTHUS et THERRODE



Etabts Albert LEPETIT & Cie

Société en commandite simple. Capital 1.000.000 de francs

Constructeurs

20, Rue Marie Debos, à Montrouge (Seine)

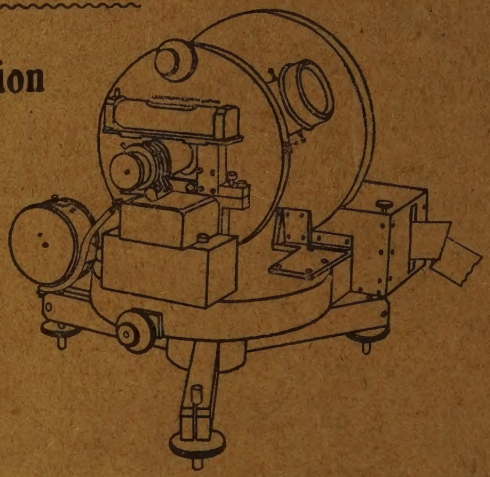
Tél. Alésia 26-37 et 26-38 — Ad. tél. Ponrode Paris 14

Fournisseurs des Ministères des Colonies, de la Marine, du Service Géographique de l'Armée.

Instruments de Précision

pour

— la Topographie, la Marine —
l'Aviation, la Météorologie, etc...



THÉODOLITES SIMPLES ET ENREGISTREURS
POUR LE REPÉRAGE DES BALLONS-SONDES

Catalogues franco sur demande

Rég. Comm. Seine 229-817B

ROSENMULLER
DRESDEN

ANÉMOMÈTRES
POUR TOUTES VITESSES
(à partir de 0,02 m/sec.)

GIROUETTES

TUBES DE PITOT

MICROMANOMÈTRES

LAMBRECHT
GÖTTINGEN

HYGROMÈTRES

PSYCHROMÈTRES

BAROMÈTRES

PLUVIOMÈTRES

EVAPOROMÈTRES

HÉLIOMÈTRES

A. OTT
KEMPTEN

PLANIMÈTRES
INTÉGRAPHES
ANALYSEUR-HARMONIQUE

—

ENREGISTREUR
DE MARÉE ET DE HOULE

—

APPAREILS
POUR L'ÉTUDE
DES COURANTS D'EAU

J. BAROT

Représentant exclusif
pour la France et les Colonies

20, Rue de Varenne, PARIS (7e)

Catalogues franco sur demande

Rochefort-sur-mer. — Imprimerie A. Thoyon-Thèze. — 1938.